

BEATRIZ COSTALONGA VARGAS

**QUALIDADE DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICA SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

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

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Coorientador: Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

V297q
2022 Vargas, Beatriz Costalonga, 1996-
Qualidade de pontas de pulverização hidráulica sob
diferentes condições operacionais / Beatriz Costalonga Vargas. –
Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (102 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.237>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Equipamento de pulverização. 2. Produtos químicos
agrícolas - Aplicação. I. Júnior, Marconi Ribeiro Furtado, 1987-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
III. Título.

CDD 22. ed. 631.3

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

BEATRIZ COSTALONGA VARGAS

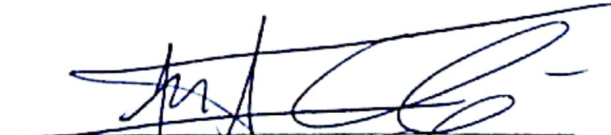
**QUALIDADE DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICA SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

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

APROVADA: 22 de fevereiro de 2022

Assentimento:


Beatriz Costalonga Vargas
Autora


Marconi Ribeiro Furtado Júnior
Orientador

*À minha mãe, pelo seu esforço, coragem e
dedicação para meus estudos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar presente, me proporcionando saúde, sabedoria, força e coragem, suficientes para desfrutar e aproveitar a oportunidade de estudar, mesmo com todas as dificuldades.

À minha família, por sempre ter incentivado meus estudos. Em especial, minha mãe, Alexandra, por cada palavra de incentivo, confiando e acreditando no meu sucesso, desde tão pequena. Em especial também, às minhas avós, Celita e Júlia, e à minha tia-avó, Maria José, por todo carinho e ajuda financeira durante esta jornada, apostando em meu potencial. Serei eternamente grata, e espero retribuí-las futuramente. Mulheres fortes criam mulheres fortes!

Ao meu namorado, João Marcus, por ter me dado todo apoio e me ajudado em cada momento desde o início da graduação. No Mestrado, se fez presente em meu dia-a-dia, sendo sempre, meu grande amigo e conselheiro, dando todo suporte emocional necessário.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marconi Ribeiro Furtado Júnior, e ao meu co-orientador, Professor Dr. Paulo Roberto Cecon, por toda paciência e dedicação comigo e com nossos experimentos. Agradeço também por todos ensinamentos, profissionais e pessoais.

Ao GETAM, Grupo de Estudos em Tecnologia Agrícola e Mecanização, à todos os membros envolvidos, por todo o conhecimento somado, dividido e compartilhado. Foi essencial para meu crescimento pessoal, além de ter me permitido fazer grandes amizades durante a pandemia. Amizades estas, nas quais me ajudaram durante todo o processo de coleta de dados dos experimentos. Em especial, Hugo, Márcio e Kléber.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Laboratório de Mecanização da Universidade Federal de Viçosa, com o seu corpo docente qualificado, por ter passado todos os conhecimentos necessários para mais essa etapa da caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade e privilégio de realizar o sonho de cursar o Mestrado, na universidade mais conceituada da área, e por ser minha nova casa. Espero contribuir para representa-la a altura.

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

“Quando tudo parece estar indo contra, lembre-se que o avião decola contra o vento, não a favor dele”.

(Henry Ford)

BIOGRAFIA

BEATRIZ COSTALONGA VARGAS, filha de Fabiano de Vargas Leitão e Alexandra Costalonga, nasceu em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, em 16 de abril de 1996.

De 2011 a 2014, formou-se no técnico em Eletromecânica, integrado ao Ensino Médio, pelo Instituto Federal do Espírito Santo, em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo.

De 2015 a 2019, graduou-se em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica, Rio de Janeiro.

Em 2020, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, à nível de Mestrado, na área de concentração de Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2022, submeteu-se aos exames de defesa da dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RESUMO

VARGAS, Beatriz Costalonga, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Qualidade de pontas de pulverização hidráulica sob diferentes condições operacionais**. Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Coorientador: Paulo Roberto Cecon.

Com o aumento da demanda de produção de alimentos, motivada pelo forte aumento populacional das últimas décadas, a aplicação de defensivos agrícolas se tornou atividade essencial para contribuir com o aumento da produtividade. Entretanto, a falta de domínio das técnicas e dos procedimentos adequados para a aplicação irá condicionar a deposição do produto em concentração inadequada no alvo, gerando contaminação ambiental. Novas tecnologias estão sendo lançadas em modelos de ponta de pulverização. Foram produzidas pontas com a tecnologia antideriva com indução de ar e com pré-orifício, em diferentes inclinações, na qual se baseia em produção de gotas com diâmetros maiores. Objetivou-se caracterizar o espectro de gotas, perfil, uniformidade de distribuição e potencial de deriva para sete modelos de pontas de pulverização, com distintas tecnologias, em três pressões de trabalho (300, 400 e 500 kPa). As pontas utilizadas foram: ConeJet TX-VS12, TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002, Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03. A primeira é convencional, com característica de gotas finas, as demais possuem tecnologia antideriva, com diferenças dentro dessa tecnologia. O espectro de gotas foi caracterizado por meio de um analisador a laser de partículas, avaliando-se as pontas em função da pressão de trabalho. Foi calculada a amplitude relativa (SPAN) e obtido o diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e o percentual de volume que correspondem as classes de tamanho das gotas com diâmetros menores que 100 μm ($\%V<100$), entre 100 e 150 μm ($100<\%V<150$) e, maiores que 500 μm ($\%V>500$). O aumento da pressão reduziu o DMV e o aumentou da $\%V<100$. A ponta ConeJet TX-VS12 apresentou os menores valores de DMV e maiores valores de $\%V<100$. Por outro lado, a TeeJet TTI-11002 obteve os maiores valores de DMV e menores valores de $\%V<100$. O perfil e a uniformidade de distribuição foi obtido em bancada de testes padrão, para todas as pontas em função das três pressões. Conforme houve aumento da pressão, a uniformidade de distribuição foi alterada diretamente. A ponta Hypro GA110-03 apresentou os menores valores de coeficiente de variação, sendo a ponta

com melhor uniformidade dentre as estudadas. A ponta ConeJet TX-VS12 apresentou os maiores valores, sendo a pior em termos de uniformidade. A estimativa da deriva foi simulada em túnel de vento avaliando-se pontas em função da pressão e da velocidade do ar. As velocidades escolhidas foram 1,67 e 2,78 m s⁻¹. Observou-se aumento da deriva com o aumento da pressão ou da velocidade do ar. Por sua vez, conforme a distância horizontal em relação a ponta aumenta, a deriva reduz, assim como a distância vertical em relação ao solo. A ponta ConeJet TX-VS12 apresentou maior potencial de deriva sob todas as condições. A TeeJet TTI-11002 se mostrou a mais eficiente, apresentando os menores valores para deriva sob todas as condições analisadas. Concluiu-se que, no geral, as pontas antideriva mostraram melhores aspectos do que a ponta ConeJet TX-VS12.

Palavras-chave: Espectro de gotas. Uniformidade de distribuição. Potencial de deriva.

ABSTRACT

VARGAS, Beatriz Costalonga, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Quality of hydraulic tips under different operating conditions.** Adviser: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Co-adviser: Paulo Roberto Cecon.

With the increase in demand for food production, motivated by the strong population increase in recent decades, the application of pesticides has become an essential activity to contribute to increased productivity. However, the lack of mastery of the techniques and procedures suitable for the application will condition the deposition of the product in inadequate concentration on the target, generating environmental contamination. New technologies are being rolled out in spray tip models. Tips were produced with anti-drift technology with air induction and with pre-orifice, in different inclinations, which is based on the production of droplets with larger diameters. The objective was to characterize the droplet spectrum, profile, distribution uniformity and drift potential for seven spray nozzle models, with different technologies, at three working pressures (300, 400 and 500 kPa). The tips used were: ConeJet TX-VS12, TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002, Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 and Hypro GA110-03. The first is conventional, with a characteristic of fine drops, the others have anti-drift technology, with differences within this technology. The droplet spectrum was characterized by means of a laser particle analyzer, evaluating the tips as a function of the working pressure. The relative amplitude (SPAN) was calculated and the volumetric median diameter (DMV) and the volume percentage were obtained, which correspond to the droplet size classes with diameters smaller than 100 μm ($\%V < 100$), between 100 and 150 μm ($100 < \%V < 150$) and greater than 500 μm ($\%V > 500$). The increase in pressure reduced the DMV and increased it from $\%V < 100$. The ConeJet TX-VS12 tip showed the lowest values of DMV and the highest values of $\%V < 100$. On the other hand, TeeJet TTI-11002 obtained the highest values of DMV and lowest values of $\%V < 100$. The profile and distribution uniformity were obtained on a standard test bench, for all tips as a function of the three pressures. As the pressure increased, the distribution uniformity changed directly. The Hypro GA110-03 tip showed the lowest values of coefficient of variation, being the tip with the best uniformity among those studied. The ConeJet TX-VS12 tip showed the highest values, being the worst in terms of uniformity. The drift estimation was simulated in a

wind tunnel, evaluating points as a function of air pressure and speed. The chosen speeds were 1.67 and 2.78 m s⁻¹. An increase in drift was observed with increasing air pressure or air velocity. In turn, as the horizontal distance from the tip increases, the drift decreases, as does the vertical distance from the ground. The ConeJet TX-VS12 tip showed the highest drift potential under all conditions. TeeJet TTI-11002 proved to be the most efficient, presenting the lowest values for drift under all conditions analyzed. It was concluded that, in general, the anti-drift tips showed better aspects than the ConeJet TX-VS12 tip.

Keywords: Droplet spectrum. Distribution uniformity. Drift potential.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO I - CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM TECNOLOGIA ANTIDERIVA EM DIFERENTES PRESSÕES

Figura 1 – Analisador a laser de partículas modelo Spraytec utilizado no experimento.	28
Figura 2 - Equações ajustadas com valores médios observados de vazão (L min ⁻¹) para as pontas hidráulicas de acordo com as pressões de trabalho (bar). **Significativo a 1% pelo teste t.....	32
Figura 3 - Comportamento da amplitude relativa (SPAN) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.....	34
Figura 4 - Comportamento do diâmetro correspondente a 50% de volume do espectro de gotas (DV50) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.....	37
Figura 5 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas menores de 100 µm ($V\% < 100 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.....	40
Figura 6 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas entre 100 e 150 µm ($100 < V\% < 150 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.....	42
Figura 7 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas maiores que 500 µm ($V\% > 500 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.....	44

ARTIGO II - PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS EM DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO

Figura 8 – Bancada padrão para testes de distribuição utilizada no experimento.....	54
Figura 9 - Perfil de distribuição volumétrica e assimetria do jato da ConeJet TX-VS12 ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas.....	56

Figura 10 - Perfis de distribuição volumétrica e assimetria das pontas hidráulicas ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas. Sendo: (a) TeeJet TTJ60-11002; (b) TeeJet TT-11002 e (c) TeeJet TTI-11002.....	58
Figura 11 - Perfis de distribuição volumétrica e assimetria das pontas hidráulicas ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas. Sendo: (a) Hypro 3D100-02 e (b) Hypro 3D100-03.	61
Figura 12 - Perfil de distribuição volumétrica e assimetria do jato da Hypro GA110-03 ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas.....	62

ARTIGO III - POTENCIAL DE DERIVA EM PONTAS DE PULVERIZAÇÃO AVALIADAS SOB DIFERENTES PRESSÕES E VELOCIDADES

Figura 13 - Túnel de vento utilizado no experimento.....	74
Figura 14 - Disposição dos fios de polietileno dentro do túnel de vento.....	75
Figura 15 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta ConeJet TX-VS12 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$	79
Figura 16 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TTJ60-11002 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$	81
Figura 17 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TT-11002 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$	83
Figura 18 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TTI-11002 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$	85

Figura 19 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro 3D100-02 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$87

Figura 20 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro 3D100-03 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$89

Figura 21 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro GA110-03 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$91

Figura 22 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado em ponto médio na distância horizontal (2,75 m) e vertical (0,25 m) para todas as pontas hidráulicas avaliadas neste experimento. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$93

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I - CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM TECNOLOGIA ANTIDERIVA EM DIFERENTES PRESSÕES

Tabela 1 – Classificação de tamanho de gota segundo a ASABE S572.1.....	25
Tabela 2 - Características dos modelos das pontas de pulverização utilizadas no experimento, de acordo com seus fabricantes.	26
Tabela 3 - Condições de temperatura e umidade relativa (UR) interna do laboratório durante as coletas do experimento.	29
Tabela 4 - Valores médios de vazão ($L \text{ min}^{-1}$) para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho (bar).....	33
Tabela 5 - Valores médios de amplitude relativa (SPAN) para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho (bar).....	35
Tabela 6 - Valores médios de DV_{50} para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.	39
Tabela 7 - Valores médios de $V\% < 100 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.	41
Tabela 8 - Valores médios de $100 < V\% < 150 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.	42
Tabela 9 - Valores médios de $V\% > 500 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.	44

ARTIGO II - PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS EM DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO

Tabela 10 - Valores de coeficientes de variação (%) apresentados pelas pontas hidráulicas para as respectivas pressões de trabalho (bar) de acordo com a uniformidade de distribuição.....	63
--	----

ARTIGO III - POTENCIAL DE DERIVA EM PONTAS DE PULVERIZAÇÃO AVALIADAS SOB DIFERENTES PRESSÕES E VELOCIDADES

Tabela 11 - Características dos modelos das pontas de pulverização utilizadas no experimento, de acordo com seus fabricantes.	72
Tabela 12 - Espectro de gotas das pontas hidráulicas utilizadas no experimento. ...	77

Tabela 13 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta ConeJet TX-VS12 em função das pressões e das velocidades escolhidas.	78
Tabela 14 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TTJ60-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.	80
Tabela 15 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TT-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.	82
Tabela 16 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TTI-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.	84
Tabela 17 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro 3D100-02 em função das pressões e das velocidades escolhidas..	86
Tabela 18 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro 3D100-03 em função das pressões e das velocidades escolhidas..	88
Tabela 19 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro GA110-03 em função das pressões e das velocidades escolhidas.	91

APÊNDICE A - NOTAS

Tabela 19 - Resumo da ANOVA da variável vazão em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões (PRE).	100
Tabela 20 - Resumo da ANOVA das variáveis SPAN, DV10, DV50 e DV90 em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões (PRE).	100
Tabela 21 - Resumo da ANOVA das variáveis V100, 100V150 e V500 em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões de trabalho (PRE).	100
Tabela 22 – Valores médios de temperatura (°C) nas datas de coleta do túnel de vento.	101

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

ARTIGO I - CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM TECNOLOGIA ANTIDERIVA EM DIFERENTES PRESSÕES

1. Introdução	23
2. Materiais e métodos	25
2.1 Determinação da vazão das pontas	27
2.2 Caracterização do espectro de gotas	27
2.3 Análise estatística	30
2.3.1 Determinação da vazão das pontas hidráulicas	30
2.3.2 Espectro de gotas e homogeneidade de distribuição	30
3. Resultados e discussão	32
3.1 Determinação da vazão das pontas hidráulicas	32
3.2 Caracterização do espectro de gotas	34
3.2.1 Amplitude relativa (SPAN) e DV ₅₀ das pontas hidráulicas	34
3.2.2 Percentual de volume das classes de gotas formadas pelas pontas	39
4. Conclusões	46
5. Referências bibliográficas	47

ARTIGO II - PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS EM DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO

1. Introdução	51
2. Material e métodos	53
2.1 Caracterização do perfil de deposição e assimetria do jato	53
2.2 Caracterização da uniformidade de distribuição	55
2.3 Correlação entre os coeficientes de assimetria e de variação	55
3. Resultados e discussão	56
3.1 Perfil de deposição e assimetria do jato	56
3.2 Uniformidade de distribuição das pontas hidráulicas	63
3.3 Correlação entre coeficientes de assimetria e de variação	64

4. Conclusões.....	66
5. Referências bibliográficas	67

ARTIGO III - POTENCIAL DE DERIVA EM PONTAS DE PULVERIZAÇÃO
AVALIADAS SOB DIFERENTES PRESSÕES E VELOCIDADES

1. Introdução.....	71
2. Material e métodos	72
2.1. Determinação do potencial de deriva	73
2.2 Análise estatística	76
3. Resultados e discussão.....	77
3.1. Determinação do potencial de deriva	77
4. Conclusões.....	97
5. Referências bibliográficas	98
APÊNDICE A - Notas	100

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira é marcada por grande produção de grãos nos últimos anos, sendo essencial para a balança comercial do país. As áreas cobertas por plantações, entre os anos 2000 e 2014, passaram de 26,0 para 46,1 Mha. Segundo a CONAB (2021), mais de 20% foram apenas de vegetação nativa. Ou seja, o Brasil apresenta bom potencial a ser explorado, além de ser caracterizado por seus solos férteis e clima tropical na qual é favorável a agricultura, sendo importante provedor mundial de alimentos (Lobão & Staduto, 2018; Artuzo et al., 2019; Tetila et al., 2019).

Com a introdução de novas tecnologias na agricultura, como a questão dos defensivos que atua no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, a produtividade aumentou, garantindo além de maior quantidade, maior qualidade dos alimentos. Entretanto, apesar dos defensivos contribuírem positivamente na agricultura, se não houver o conhecimento da técnica de aplicação, há a preocupação com contaminação ambiental. Para uma aplicação ser eficiente, precisa-se ter conhecimento do alvo, do fator a ser controlado, das condições climáticas no momento e da seleção de equipamentos adequados (Gandolfo et al., 2019; Vieira et al., 2019; Sinha et al., 2020; Wang et al., 2020; Oliveira et al., 2021)

Deriva é a porção do defensivo agrícola aplicado que não atinge o alvo desejado, podendo se depositar em áreas vizinhas, com potencial de impacto no ambiente. Com o desenvolvimento de tecnologias na área de aplicação, foram desenvolvidos modelos de pontas de pulverização que prometem reduzir a deriva, chamadas de antideriva. Destaca-se a inserção de um pré-orifício, com indução de ar, com jatos inclinados em diferentes ângulos, jato duplo, entre outros. O tamanho das gotas produzidas por estes modelos de ponta é fundamental na redução da deriva. A escolha correta da ponta hidráulica para uma determinada aplicação é de extrema importância (Chechetto et al., 2013; Godinho Júnior et al., 2017; Maciel et al., 2018; Crause et al., 2019; Sinha et al., 2020).

Diante desse cenário, tem-se necessidade de sempre desenvolver novas tecnologias, para aplicação de defensivos ser cada vez mais eficiente e menos danoso ao meio ambiente. É importante aprimorar as tecnologias de pontas e de se obter a caracterização para compor um banco de dados sobre as novas pontas de pulverização entrando no mercado. Objetivou-se neste trabalho caracterizar o espectro de gotas, perfil, uniformidade de distribuição e potencial de deriva de sete

pontas de pulverização com diferentes tecnologias, sob diferentes pressões e velocidades do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artuzo, F. D.; Foguesatto, C. R.; Machado, J. A. D.; Oliveira, L.; Souza, A. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 02, p. 515-540, 2019.

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. **Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 01, p. 37–46, 2013.

Crause, D. H.; Vitória, E. L.; Soela, D. M.; Oliveira, D. A.; Gonçalves, A. **Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café conilon**. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória – ES, 2019.

Gandolfo, M. A.; Chechetto, R. G.; Carvalho, F. K.; Gandolfo, U. D.; Moraes, E. D. Influence on spray drift of nozzles and adjuvants with a glyphosate spray solution. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 03, p. 474-480, 2013.

Godinho Júnior, J. D., Vieira, L. C., Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., Faria, V. R., Carvalho Filho, A. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 04, p. 550-554, 2017.

Lobão, M. S. P; Staduto, J. A. R. Perspectivas sobre o desenvolvimento rural brasileiro: notas teóricas. **Revista Paranaense de desenvolvimento**, v. 39, n. 135, p. 13-27, 2018.

Maciel, C. F. S; Teixeira, M. M.; Fernandes, H. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 03, p. 430-436, 2018.

Oliveira, G. M., Gandolfo, M. A., Dalazen, G., Osipe, J. B., Oliveira, S. M., & Silva, M. A. Regression analysis to evaluate herbicide drift and injury in Roundup Ready cotton in wind tunnel. **Ciência Agronômica**, v. 52, n. 2, p.01-08, 2021.

Sinha, R.; Ranjan, R.; Khot, L. R.; Hoheisel, G. A.; Grieshop, M. J. Comparison of within canopy deposition for a solid set canopy delivery system (SSCDS) and an axial-fan airblast sprayer in a vineyard. **Crop Protection**, Elsevier, v. 132, p. 105-124, 2020.

Tetila, E. C.; Tetila, J. L. C.; Pistori, H.; Silva, M. A. B. F. Challenges of the agricultural development model of the state of Mato Grosso do Sul: a proposal for sustainable development. **Revista Interações**, v. 21, n. 03, p. 615-632, 2020.

Vieira, L. C.; Godinho Júnior, J. D.; Ruas, R. A. A.; Faria, V. R.; Carvalho Filho, A. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 03, p. 331-340, 2019.

Wang, G.; Han, Y.; Li, X.; Andaloro, J.; Chen, P.; Hoffmann, W. C.; Han, X.; Chen, S.; Lan, Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Revista Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 37, p. 01-13, 2020

Artigo I

CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM TECNOLOGIA
ANTIDERIVA EM DIFERENTES PRESSÕES

1. Introdução

Com o aumento da demanda de produção de alimentos, motivada pelo forte aumento populacional das últimas décadas, a aplicação de defensivos agrícolas se tornou atividade essencial para contribuir com o aumento da produtividade. Entretanto, a falta de domínio das técnicas e dos procedimentos adequados para a aplicação irá condicionar a deposição do produto em concentração inadequada no alvo, gerando contaminação ambiental. Aplicações realizadas de maneira incorreta geram uma crescente preocupação mundial (Santos et al., 2017; Maciel et al., 2018; Chao et al., 2019; Ahmad et al., 2020).

A deriva, em aplicações de defensivos, pode ser caracterizada como qualquer desvio sofrido pelas gotas em relação ao alvo planejado. Este fenômeno contribui para a redução da eficiência nas aplicações e aumenta o risco de contaminação ambiental e humana. O tamanho das gotas pulverizadas e a velocidade do vento no momento da aplicação são os principais fatores que afetam a taxa de deriva (Maciel et al., 2016; Butts et al., 2019; Vieira et al., 2019).

É crucial que as pontas de pulverização produzam um espectro de gotas homogêneo e no tamanho adequado ao tipo de tratamento objetivado. A deriva ocorre principalmente com gotas menores que 100 μm , de forma que essas gotas servem como um indicador de deriva mais eficiente do que o DMV (Maciel et al., 2016; Yang et al., 2019; Ahmad et al., 2020). O DMV é definido como diâmetro da mediana volumétrica, na qual consiste em ser o diâmetro onde o espectro de gotas está dividido exatamente em 50% de volume (Marangoni Júnior & Ferreira, 2019; Vieira et al., 2019; Martins et al., 2021).

Um indicativo de espectro de gotas homogêneo é a amplitude relativa, conhecida como SPAN. É dada pela diferença do diâmetro de gotas em que se concentra 90 (DV_{90}) e 10% (DV_{10}) de volume, com a relação entre o DMV. Dessa forma, valores mais próximos de zero são os esperados para um espectro de gotas mais homogêneo. Espectro de gotas homogêneo é importante quando se deseja aplicações de alta qualidade, além disso, também pode reduzir risco de deriva (Vitoria & Leite, 2014; Dorneles et al., 2019; Martins et al., 2021).

A pressão de trabalho das pontas de pulverização influencia na cobertura do alvo, podendo ocasionar no aumento da cobertura, quando combinada com as pontas

hidráulicas de maneira adequada (Massola et al., 2018; Martins et al., 2021). Sabe-se que com o aumento da pressão, há diminuição do tamanho de gotas aplicado. Conseqüentemente, quando a gota é muito fina, acontece perda por deriva. Porém, quando é muito grossa, a perda se caracteriza por escorrimento. No mais, o espectro de gotas sofre maiores alterações conforme o design da ponta de pulverização e a pressão de operação são diferentes (Maciel et al., 2017; Prado, 2017; Schmidt et al., 2017; Dorneles et al., 2019; Lauber, 2019).

Novas tecnologias estão sendo lançadas em modelos de ponta de pulverização. Foram produzidas pontas com a tecnologia antideriva com indução de ar e com pré-orifício, em diferentes inclinações, na qual se baseia em produção de gotas com diâmetros maiores. Portanto, pontas hidráulicas para aplicação de defensivos estão em constante desenvolvimento (Rodrigues, 2012; Godinho et al., 2017; Martins et al., 2021). Assim, tornam-se necessários estudos para buscar a caracterização do espectro de gotas das pontas de pulverização que surgem de acordo com a evolução tecnológica, alterando também, as pressões de trabalho.









2. Material e métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, Minas Gerais.

Para o trabalho, foram selecionados sete modelos de pontas de pulverização. A escolha baseou-se em inovações tecnológicas, sendo seis pontas de tecnologia antideriva: TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002, Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03. Comparou-se estas pontas com a ponta convencional ConeJet TX-VS12. As pontas ConeJet TX-VS12, Hypro 3D100-02 e Hypro 3D100-03 são indicadas para herbicidas, fungicidas e inseticidas de contato, enquanto que as pontas TeeJet TTI-11002 e Hypro GA110-03 são indicadas para o uso sistêmico. Por sua vez, as pontas TeeJet TTJ60-11002 e TeeJet TT-11002 são recomendadas para o uso de contato e sistêmico em todos os casos. Na sequência, foram escolhidas três pressões de operações, sendo as mais utilizadas das pontas selecionadas, com a finalidade de ter tamanhos de gotas diferentes, sendo estas: 300, 400 e 500 kPa.

Foi adotado o critério de classificação da ASABE S5725.1 (2018), quanto ao tamanho de gotas, para discussão dos resultados obtidos para os espectros dos modelos de ponta de pulverização, na qual é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de tamanho de gota segundo a ASABE S572.1.

Categoria	Símbolo	Código de cor	DMV aproximado (μm)
Extremamente fina	XF		< 60
Muito fina	VF		61 – 105
Fina	F		106 – 235
Média	M		236 – 340
Grossa	C		341 – 403
Muito grossa	VC		404 – 502
Extremamente grossa	XC		503 – 665
Ultra Grossa	UC		> 665

DMV: diâmetro da mediana volumétrica, ou seja, DV_{50} .

Fonte: A autora.

Na Tabela 2, apresentam-se características dos modelos das pontas hidráulicas selecionadas.

Tabela 2 - Características dos modelos das pontas de pulverização utilizadas no experimento, de acordo com seus fabricantes.

Marca e modelo	Material	Tipo de jato	Tecnologia	Pressão (kPa)	Gota
ConeJet TX-VS12	Aço inoxidável	Cone vazio	Convencional	300	F
				400	F
				500	VF
TeeJet TTJ60-11002	Polímero	Leque plano duplo	Antideriva - Ângulo entre cada jato de 60°	300	C
				400	M
				500	M
TeeJet TT-11002	Polímero	Leque plano simples	Antideriva - Resistência ao desgaste	300	M
				400	M
				500	F
TeeJet TTI-11002	Polímero	Leque plano simples	Antideriva - Com indução de ar e pré-orifício	300	UC
				400	UC
				500	XC
Hypro 3D100-02	Poliacetal	Leque plano simples inclinado 35°	Antideriva - Pulverização inclinada	300	F
				400	F
				500	F
Hypro 3D100-03	Poliacetal	Leque plano simples inclinado 35°	Antideriva - Pulverização inclinada	300	M
				400	M
				500	F
Hypro GA110-03	Poliacetal	Leque plano simples inclinado 15°	Antideriva - Inclinada com indução de ar	300	C
				400	C
				500	C

Fonte: A autora.

Foram realizados dois experimentos, no primeiro determinou-se a vazão dos modelos selecionados, pela necessidade de verificar a condição das pontas. Apesar de serem novas, é possível a existência de problemas de fabricação que podem comprometer os dados. O segundo experimento foi caracterizado o espectro de gotas das pontas nas pressões de trabalho selecionadas.

O experimento para determinação da vazão das pontas foi planejado em um delineamento inteiramente casualizado, segundo um esquema de parcela subdividida, tendo os modelos de pontas na parcela e as pressões nas subparcelas com três repetições. O experimento para determinação do espectro de gotas seguiu o mesmo delineamento, entretanto, foram realizadas cinco repetições por tratamento.

2.1 Determinação da vazão das pontas

A vazão nominal indicada pelos fabricantes de pontas hidráulicas é obtida na pressão de 40 psi (2,8 bar ou 280 kPa). A correção entre a vazão nominal e as vazões determinadas pelo experimento, que foram ajustadas de acordo com as pressões de trabalho escolhidas, utilizou-se a Equação 1.

$$\frac{Q_1}{\sqrt{P_1}} = \frac{Q_2}{\sqrt{P_2}} \quad (1)$$

em que,

Q_1 – Vazão nominal, L min⁻¹;

Q_2 – Vazão nas condições estudadas, L min⁻¹;

P_1 – Pressão de trabalho na condição nominal, kPa;

P_2 – Pressão de trabalho nas condições estudadas, kPa.

Assim, as vazões esperadas para as pontas terminadas em 02, de 0,2 gal min⁻¹ (0,757 L min⁻¹), de acordo com as pressões escolhidas de 300, 400 e 500 kPa, foram de, respectivamente, 0,78, 0,90 e 1,01 L min⁻¹. Por sua vez, para as pontas terminadas em 03, de 0,3 gal.min⁻¹ (1,136 L min⁻¹), as vazões esperadas para as mesmas pressões foram de 1,18, 1,36 e 1,52 L min⁻¹, respectivamente.

Essa determinação foi realizada coletando-se o líquido aplicado por cada ponta, com auxílio de proveta em polipropileno graduada de 500 mL, durante um minuto, marcado em cronômetro digital padrão de dispositivo Android. Foram feitas três repetições para cada combinação entre pressão/ponta.

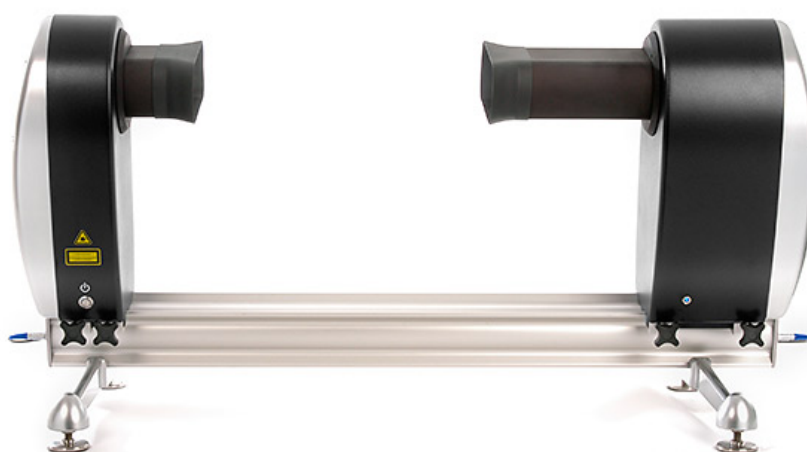
2.2 Caracterização do espectro de gotas

A avaliação do experimento foi conduzida em laboratório, sendo utilizado o analisador a laser de partículas da marca Malvern Instruments Ltda., modelo Spraytec, com lente focal de 750 mm (Figura 1). O programa computacional Spraytec foi utilizado para gerenciar a aquisição de dados do analisador de partículas e permitiu o salvamento dos arquivos em planilha eletrônica para análise posteriormente.

O analisador de partículas foi montado em uma bancada de avaliação que possui um bocal para conexão da ponta hidráulica avaliada. O sistema de

pressurização do líquido é composto por uma bomba de três cilindros da marca WEG, 2,0 cv (1,47 kW), reservatório de 125 L e filtro de linha do tipo tela, além de um manômetro da marca Wika para monitoramento e ajuste da pressão de funcionamento do sistema.

Figura 1 – Analisador a laser de partículas modelo Spraytec utilizado no experimento.



Fonte: Malvern Panalytical.

Foram avaliadas as características do espectro de gotas em função das pressões do líquido utilizadas. A taxa de aquisição de frequência do analisador de partículas foi ajustada para 2.500 Hz.

As pontas avaliadas pulverizaram o líquido entre as lentes do analisador de partículas durante 5 segundos, sendo posicionadas na altura de 50 cm em relação ao feixe laser. Nesse intervalo de tempo, o laser realizou a varredura de todas as gotas presentes no espectro, sendo capaz de definir, basicamente, a dimensão e o volume das gotas produzidas.

A coleta dos dados foi realizada somente pelo período da manhã, com a finalidade de garantir as mesmas condições de iluminação durante todo o experimento. Foi realizada uma mensuração de temperatura e umidade relativa interna do laboratório durante o período experimental, para avaliar se estava de acordo com as exigências da norma ISO 5682-1 (1996). Segundo a Tabela 3, a temperatura variou de 16,3 a 24,1 °C e a umidade relativa ficou sempre superior a

60%, respeitando às exigências da norma. Além disso, todas as análises foram feitas na ausência de vento, para não influenciar nos espectros analisados.

Tabela 3 - Condições de temperatura e umidade relativa (UR) interna do laboratório durante as coletas do experimento.

Data	Horário	Temperatura (°C)	UR (%)
22/02/2021	08:00	19,1	97
	09:00	19,4	96
	10:00	19,6	96
	11:00	20,0	96
	12:00	21,5	89
23/02/2021	08:00	18,8	97
	09:00	18,7	97
	10:00	19,7	94
	11:00	21,1	86
	12:00	21,9	83
24/02/2021	08:00	16,6	97
	09:00	16,5	98
	10:00	18,5	97
	11:00	21,6	96
	12:00	24,1	78
25/02/2021	08:00	16,3	97
	09:00	16,3	97
	10:00	17,6	97
	11:00	20,8	91
	12:00	24,0	76

Fonte: A autora.

A homogeneidade do espectro de gotas foi estudada por meio da amplitude relativa (SPAN) do tamanho das gotas produzidas durante a pulverização. O SPAN indica a variação dimensional das gotas produzidas por determinada ponta, ou seja, representa a dispersão dos dados entre cada modelo de ponta. Valores próximos a zero tendem a ter melhor homogeneidade, ou seja, pouca dispersão entre os tamanhos de gotas. Para a aplicação de defensivos é desejável trabalhar com gotas mais homogêneas possíveis, pois nessa condição, obtém-se melhor eficiência no tratamento fitossanitário. O valor SPAN foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{SPAN} = \frac{DV_{90} - DV_{10}}{DV_{50}} \quad (2)$$

em que,

SPAN - amplitude relativa, adimensional;

DV₉₀ - diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 90% do volume total, µm;

DV₁₀ - diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 10% do volume total, µm;

DV₅₀ - diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 50% do volume total, µm.

Durante a avaliação do espectro de gotas neste equipamento, também foi avaliado o percentual de volume (V%) que correspondem as seguintes classes de tamanho das gotas: com diâmetros menores que 100 µm (V% < 100), com diâmetro entre 100 e 150 µm (100 < V% < 150) e, finalmente, maiores que 500 µm (V% > 500).

2.3 Análise estatística

2.3.1 Determinação da vazão das pontas hidráulicas

Os dados experimentais foram submetidos a análise de regressão, para o fator pressão. Os modelos foram baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se até 1% de probabilidade, no coeficiente de determinação (R²) e no comportamento do fenômeno em estudo. Para a realização dos procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional SAEG (Sistema para Análises Estatísticas).

2.3.2 Espectro de gotas e homogeneidade de distribuição

Os dados experimentais foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e a análise de regressão. As médias do fator qualitativo foram comparadas utilizando-se o teste de TUKEY, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para o fator pressão, utilizou-se regressão, e os modelos foram baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação (R²) e no comportamento do fenômeno em estudo. Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo. Para a realização dos

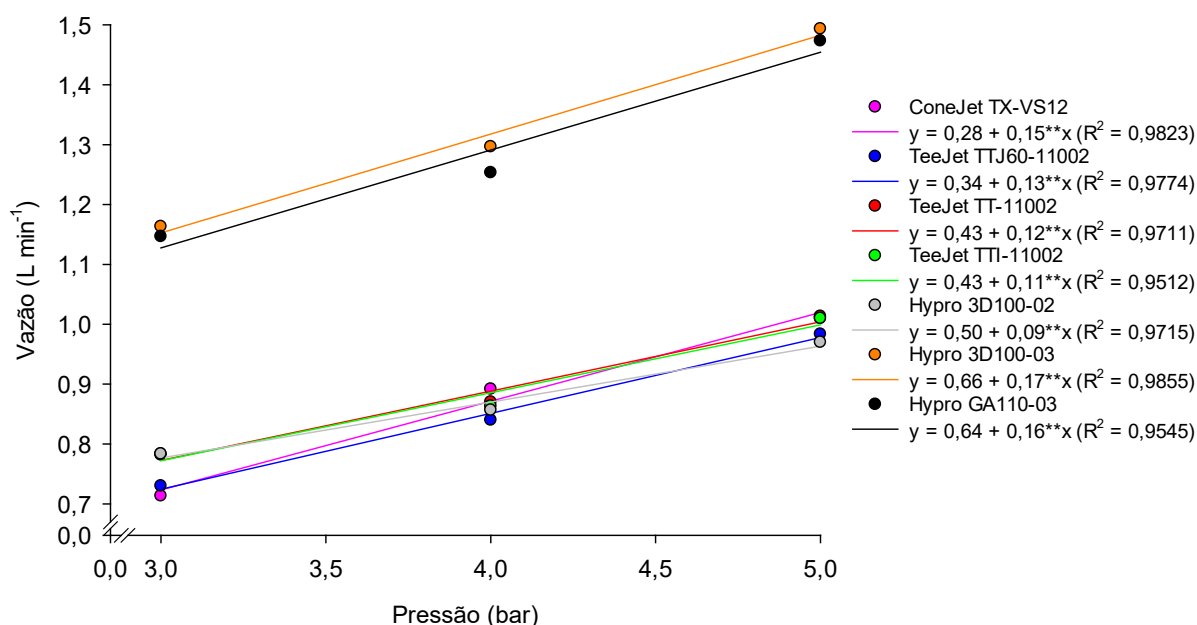
procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional SAEG (Sistema para Análises Estatísticas).

3. Resultados e discussão

3.1 Determinação da vazão das pontas hidráulicas

Para todas as pontas hidráulicas avaliadas, o fator pressão de trabalho demonstrou efeito linear, positivo e significativo na vazão, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 2 - Equações ajustadas com valores médios observados de vazão ($L \cdot min^{-1}$) para as pontas hidráulicas de acordo com as pressões de trabalho (bar). **Significativo a 1% pelo teste t.



Fonte: A autora.

Nota-se que, conforme o esperado, as pontas Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03 apresentaram maiores valores de vazão para todas as pressões de trabalho, em comparação com as outras pontas que possuem vazão nominal menor (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Essas pontas possuem taxa de fluxo nominal de $0,3 \text{ gal min}^{-1}$ ($1,14 \text{ L min}^{-1}$), enquanto que as demais apresentam o valor de $0,2 \text{ gal min}^{-1}$ ($0,76 \text{ L min}^{-1}$). A taxa de incremento da vazão em função da pressão de trabalho também foi maior para essas duas pontas analisadas, sendo de 0,17 e 0,16,

respectivamente, para a Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Observa-se que o maior valor encontrado foi para a pressão de 500 kPa, sendo de 1,49 L min⁻¹, na ponta Hypro 3D100-03, não diferindo significativamente da Hypro GA110-03, no valor de 1,47 L min⁻¹ (Tabela 4). Conforme a Equação 2, a vazão esperada era de 1,52 L min⁻¹ para estas pontas nesta pressão de trabalho. Houve redução de vazão de 1,97 e 3,29%, respectivamente, para as pontas Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03. Redução de até 10% é aceitável para a utilização de uma ponta hidráulica nova (Maciel et al., 2017).

Verifica-se que o menor valor de vazão se deu na pressão de 300 kPa, na ponta ConeJet TX-VS12, sendo de 0,71 L min⁻¹, não diferindo significativamente da TeeJet TTJ60-11002 (Tabela 4). Para essas condições, segundo a Equação 2, o valor esperado para a vazão era de 0,78 L min⁻¹. Assim, houve redução de 8,97% da vazão que era esperada, estando abaixo do limite aceitável.

Tabela 4 - Valores médios de vazão (L min⁻¹) para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho (kPa).

Ponta hidráulica	Vazão (L min ⁻¹)		
	300 kPa	400 kPa	500 kPa
ConeJet TX-VS12	0,71 c	0,89 c	1,01 b
TeeJet TTJ60-11002	0,73 c	0,84 d	0,98 bc
TeeJet TT-11002	0,78 b	0,87 cd	1,01 bc
TeeJet TTI-11002	0,78 b	0,86 cd	1,01 bc
Hypro 3D100-02	0,78 b	0,86 cd	0,97 c
Hypro 3D100-03	1,16 a	1,30 a	1,49 a
Hypro GA110-03	1,15 a	1,25 b	1,47 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: A autora.

Verifica-se que na pressão de 400 kPa, a ponta de pulverização que apresentou maior valor foi a Hypro 3D100-03, sendo de 1,30 L min⁻¹, diferindo significativamente das demais. O valor de vazão esperado, conforme Equação 2, para essas condições, era de 1,36 L min⁻¹, demonstrando então, redução de vazão de 4,41%. Na mesma pressão, a ponta com menor valor foi a TeeJet TTJ60-11002, apresentando vazão de 0,84 L min⁻¹, não diferindo significativamente da TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002 e Hypro 3D100-02. Para essas pontas, o valor esperado de vazão era de 0,90 L min⁻¹,

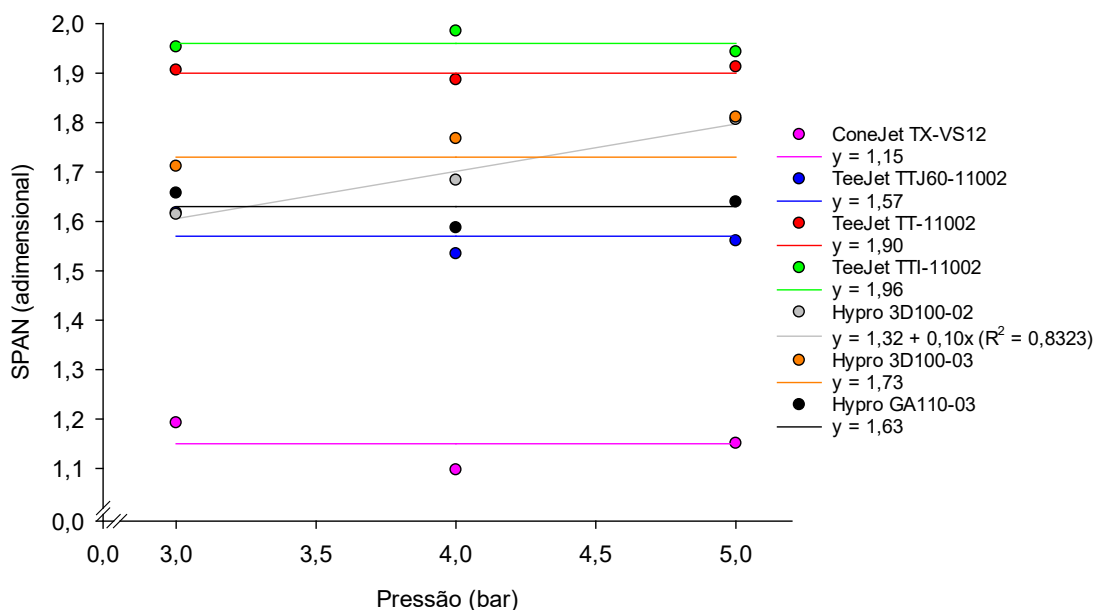
conforme Equação 2. Assim, houve redução no valor de vazão de 6,67, 3,33, 4,65 e 4,65%, para essas pontas. Conforme mencionado, está dentro do limite aceitável para pontas hidráulicas novas.

3.2 Caracterização do espectro de gotas

3.2.1 Amplitude relativa (SPAN) e DV_{50} das pontas hidráulicas

Apresenta-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, valores médios e equações ajustadas de SPAN obtidos durante o experimento. A pressão de trabalho teve efeito linear, positivo e significativo para o SPAN apenas para a ponta Hypro 3D100-02. Nas demais, não houve efeito significativo da pressão, portanto, foi assumida a média dos valores para as três pressões analisadas no estudo.

Figura 3 - Comportamento da amplitude relativa (SPAN) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.



Fonte: A autora.

Constata-se que a ponta com maiores valores de SPAN foi a TeeJet TTI-11002, indicando que foi a ponta com pior homogeneidade. O valor médio observado, para todas as pressões de operação, foi de 1,96 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Foi constatado que a faixa de deposição apresentou ser maior que a do fabricante. Isto pode causar influência na formação das gotas. Vieira et al. (2019)

avaliaram a ponta DLI 11002 na pressão de 300 kPa. Essa ponta apresenta tecnologia antideriva e apresenta indução de ar, como a TeeJet TTI-11002, porém, é leque plano duplo, como a TeeJet TTJ60-11002. Segundo os autores, essa ponta foi a que apresentou maior homogeneidade do espectro, sendo, portanto, a que apresentou o menor valor de SPAN. Entretanto, os valores de DV_{50} obtidos pelos autores foram de 472,3 μm .

Verifica-se que a ponta com melhor homogeneidade no espectro de gotas neste experimento foi a ConeJet TX-VS12, sendo sua média de valores obtidos de 1,15, para todas as pressões analisadas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Vitoria & Leite (2014) avaliaram a ponta Magno Jet DDC2, também de jato cônico vazio, na pressão de 400 kPa. Os mesmos autores obtiveram 1,27 de amplitude relativa para as pontas novas e 2,22 para as usadas. Ressalta-se que a ConeJet TX-VS12 é uma ponta convencional, com características de gotas finas e muito finas.

Observa-se na Tabela 5, a análise estatística dos valores de SPAN para cada pressão de operação dentro de cada ponta hidráulica. Nota-se que apesar da TeeJet TTI-11002 apresentar os maiores valores de amplitude relativa para todas as pressões de trabalho, não houve diferença significativa em relação a ponta TeeJet TT-11002, também para todas as pressões estudadas. Os valores obtidos da TeeJet TTI-11002 foram de 1,95, 1,99 e 1,94, respectivamente, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa. Enquanto que a TeeJet TT-11002 apresentou valores de 1,91, 1,89 e 1,91, respectivamente, para as mesmas pressões (Tabela 5). Apesar da TeeJet TT-11002 não diferir significativamente da TeeJet TTI-11002, na pressão de 300 kPa, também não diferiu estatisticamente da Hypro 3D100-03, que apresentou o valor de 1,71 para o SPAN (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de amplitude relativa (SPAN) para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho (kPa).

Ponta hidráulica	SPAN (adimensional)		
	300 kPa	400 kPa	500 kPa
ConeJet TX-VS12	1,19 d	1,10 e	1,15 d
TeeJet TTJ60-11002	1,62 c	1,53 d	1,56 c
TeeJet TT-11002	1,91 ab	1,89 a	1,91 a
TeeJet TTI-11002	1,95 a	1,99 a	1,94 a
Hypro 3D100-02	1,61 c	1,68 bcd	1,81 ab
Hypro 3D100-03	1,71 bc	1,77 bc	1,81 ab
Hypro GA110-03	1,66 c	1,59 cd	1,64 bc

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

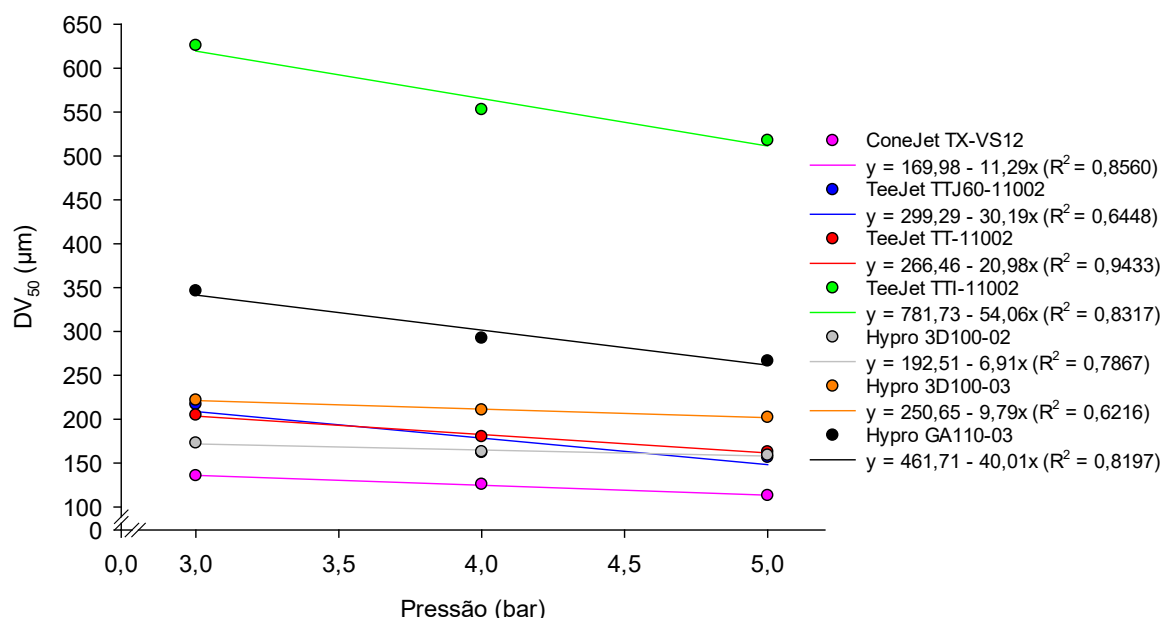
Fonte: A autora.

Verifica-se que a ponta ConeJet TX-VS12, além de apresentar os menores valores de SPAN para todas as pressões estudadas, também diferiu significativamente das demais, para todas as pressões analisadas (Tabela 5). A melhor homogeneidade no espectro de gotas pode ser um fator importante para um potencial risco de deriva menor, acarretando em aplicações mais eficientes (Maciel et al., 2017).

Constata-se que a ponta Hypro 3D100-02 apresentou valores de 1,61, 1,68 e 1,81, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 5). Martins et al. (2021) avaliaram a ponta Hypro 3D100-02 em analisador a laser, nas pressões de 138 à 414 kPa. Os autores obtiveram valores entre 1,30 e 1,75 de amplitude relativa, nessas condições. A diferença de valor para este estudo na pressão de 400 kPa foi pouca, o que pode ser explicado devido ao fato dos autores terem avaliado o SPAN na pressão de 414 kPa.

Apresentam-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** os valores médios e equações ajustadas de DV_{50} para os modelos de pontas selecionados. Nota-se que para todas as pontas, houve a redução do diâmetro conforme o aumento da pressão de trabalho. Maciel et al. (2017) e Roman et al. (2010) relataram que com o aumento de pressão de trabalho, há aumento da vazão, ocasionando maior velocidade do fluido e maior energia para a atomização. Assim, o líquido tende a ter maior fracionamento, produzindo mais gotas com o diâmetro cada vez mais reduzido.

Figura 4 - Comportamento do diâmetro correspondente a 50% de volume do espectro de gotas (DV₅₀) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.



Fonte: A autora.

O maior valor de DV₅₀ foi observado para a ponta TeeJet TTI-11002 em todas as pressões avaliadas. Os valores foram de 625,84, 552,90 e 517,72 μm , para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Verifica-se que para esses elevados valores de DV₅₀, a classe de gotas em que se encaixa é de ultra grossa para 300 e 400 kPa, e extremamente grossa para 500 kPa, de acordo com o critério de classificação da ASABE S572.1 (2018).

Observa-se que a segunda ponta hidráulica com maiores valores de DV₅₀ foi a Hypro GA110-03. Esta ponta possui vazão nominal de $0,3 \text{ gal. min}^{-1}$ ($1,14 \text{ L. min}^{-1}$), diferentemente da TeeJet TTI-11002, que é de $0,2 \text{ gal. min}^{-1}$ ($0,76 \text{ L. min}^{-1}$). Os valores observados, para as pressões de operação de 300, 400 e 500 kPa, foram de, respectivamente, 346,34, 292,34 e 262,32 μm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Vieira et al. (2019) avaliaram o espectro de gotas para as pontas SL-11002, DL-11002 e DLI-1102 na pressão de 300 kPa. Os autores relataram os maiores valores de diâmetros volumétricos para a ponta com indução de ar, chegando a ultrapassar 500 μm , fato este observado no presente estudo também. As pontas com os maiores valores de DV₅₀, TeeJet TTI-11002 e Hypro GA110-03, apresentam indução de ar nas gotas.

Constata-se que as pontas ConeJet TX-VS12, TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002 e Hypro 3D100-02 também possuem vazão nominal de $0,2 \text{ gal}\cdot\text{min}^{-1}$. No entanto, possuem diferenças quanto a classe de tamanho de gotas. A ConeJet TX-VS12 apresentou os menores valores de DV_{50} , também reduzindo com o aumento da pressão de operação. Os valores obtidos foram de 135,58, 125,88 e 113,00 μm , para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esses tamanhos remetem a classe de gotas finas para as pressões de 300 e 400 kPa, e muito finas em 500 kPa. Vitoria & Leite (2014) avaliaram o espectro de gotas da ponta Magno Jet DDC2, também de jato cônico vazio, na pressão de 400 kPa, com auxílio de um pulverizador costal. Os autores obtiveram valores de 161,9 a 204,7 μm . A diferença nos valores pode ser explicada pela utilização do pulverizador e a condição de vento existente no experimento. Além disso, o fabricante da ponta também foi diferente, podendo ter outro modelo envolvido. Os autores também relataram que devido os valores de diâmetros baixos encontrados nessa ponta, o potencial de deriva será maior. Scudeler & Raetano (2006) também observaram diminuição dos diâmetros com o aumento da pressão de trabalho para jatos cônicos vazios.

Nota-se que a Hypro 3D100-02 apresentou os valores de 172,78, 162,88 e 158,96 μm , para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Martins et al. (2021) também avaliaram a ponta Hypro 3D100-02, porém, utilizando as pressões de 138, 207, 276, 345 e 414 kPa. Os autores obtiveram resultados próximos de DV_{50} para as pressões estudadas neste estudo, sendo de 172,75 μm para 414 kPa. Isso pode ser explicado pela leve diferença na pressão de trabalho utilizada no experimento dos mesmos autores.

Os resultados diferentes com pontas de pulverização de mesma vazão nominal são esperados. Este fato se explica devido ao projeto de engenharia envolvido em cada tipo de bocal, sendo capaz de permitir diferentes tamanhos de gotas (Vieira et al., 2019; Martins et al., 2021). Além disso, cada modelo de ponta de pulverização escolhida tem um tipo de tecnologia diferente, conforme mostrado na Tabela 2.

Apresenta-se na Tabela 6, o teste de médias para avaliar as pressões de trabalho para cada DV_{50} das pontas de pulverização estudadas. Nota-se que a ponta TeeJet TTI-11002 diferiu significativamente das demais para todas as pressões analisadas neste estudo, evidenciando ainda mais, sua diferença entre tamanho de

gotas. Em contrapartida, a ConeJet TX-VS12 também diferiu estatisticamente das demais em todas as pressões. Porém, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Tabela 6, foi a ponta com os menores valores.

Tabela 6 - Valores médios de DV_{50} para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.

Ponta hidráulica	DV_{50} (μm)		
	3 bar	4 bar	5 bar
ConeJet TX-VS12	135,58 e	125,88 e	113,00 e
TeeJet TTJ60-11002	216,94 c	162,08 d	156,56 d
TeeJet TT-11002	204,68 c	180,22 d	162,72 d
TeeJet TTI-11002	625,84 a	552,90 a	517,72 a
Hypro 3D100-02	172,78 d	162,88 d	158,96 d
Hypro 3D100-03	221,72 c	210,60 c	202,14 c
Hypro GA110-03	346,34 b	292,34 b	262,32 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: A autora.

Destaca-se que nas pressões de trabalho de 300, 400 e 500 kPa, a ponta Hypro GA110-03 diferiu significativamente das demais, apresentando valores de 346,34, 292,34 e 262,32 μm , respectivamente (Tabela 6). Já as pontas TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002 e Hypro 3D100-03 não diferiram estatisticamente entre si, apresentando os valores de, respectivamente, 216,94 e 204,68 e 221,72 μm , para a pressão de 300 kPa (Tabela 6). Por fim, a Hypro 3D100-02 aparece como o segundo menor valor de DV_{50} , diferindo significativamente das demais, nessa pressão de operação.

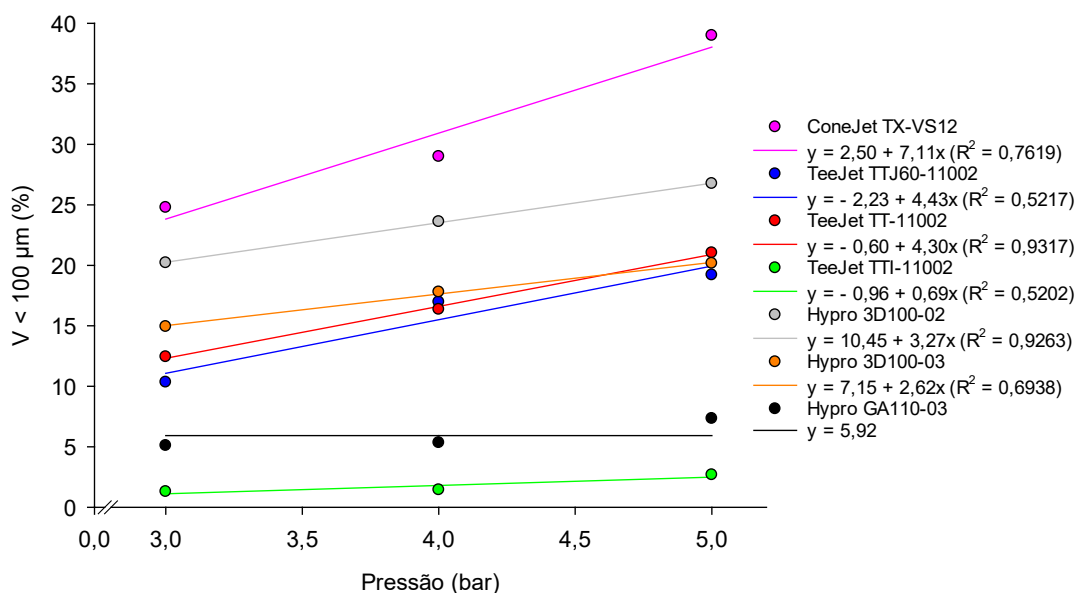
Para as pressões de 400 e 500 kPa, a ponta Hypro 3D100-03 diferiu estatisticamente das demais, apresentando os valores de 210,60 e 202,14 μm , respectivamente (Tabela 6). Já as pontas TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002 e Hypro 3D100-02 apresentaram valores de, respectivamente, 162,08, 180,22 e 162,88 μm , para 400 kPa, e de 156,56, 162,72 e 158,96 μm para 500 kPa, não diferindo estatisticamente entre si para as duas pressões mencionadas (Tabela 6).

3.2.2 Percentual de volume das classes de gotas formadas pelas pontas

Para todas as pontas de pulverização foi observado efeito linear, positivo e significativo da pressão de trabalho no percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm , com exceção da ponta Hypro GA110-03 (**Erro! Fonte de referência**

não encontrada.) Foi observado que a ponta Hypro GA110-03 não teve efeito significativo, portanto, foi assumida a média dos valores para as três pressões analisadas no estudo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 5 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas menores de 100 µm ($V\% < 100 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.



Fonte: A autora.

Nota-se que a ponta hidráulica que obteve maiores percentuais de gotas nessa faixa foi a ConeJet TX-VS12, com maior taxa de incremento nas pressões de trabalho (7,11) e coeficiente de determinação de 0,7619 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Percebe-se que a cada aumento de pressão de operação, aumentou também o percentual de volume para essa faixa de tamanho de gotas.

Constata-se que dentro de cada pressão de trabalho, a ponta ConeJet TX-VS12 apresentou o maior percentual de gotas abaixo de 100 µm. Este percentual aumentou 57,32% quando a pressão foi de 300 para 500 kPa. O maior valor dessa faixa de volume foi obtido na pressão de 500 kPa, onde pelo critério de classificação no tamanho de gotas, tem-se gotas muito finas.

Percebe-se que a Hypro 3D100-02 também apresenta destaque, sendo a segunda ponta de pulverização com maiores valores percentuais para essa faixa de volume. Para as pressões analisadas, os valores foram de 20,22, 23,61 e 26,76%, respectivamente, para 300, 400 e 500 kPa (Tabela 7). Os valores diferem

significativamente das demais pontas de pulverização para todas as pressões exploradas. Segundo o fabricante, esta ponta apresenta tamanho de gotas finas para todas as pressões estudadas, o que explica os valores elevados para essa faixa de volume. Maciel et al. (2017) e Roman et al. (2010) relataram que conforme há aumento de pressão de trabalho, há aumento da quantidade de líquido que passará pelo orifício da ponta. Assim, o líquido tende a ter maior fracionamento, produzindo mais gotas com diâmetros menores.

Tabela 7 - Valores médios de $V\% < 100 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.

Ponta hidráulica	$V\% < 100 \mu\text{m}$		
	300 kPa	400 kPa	500 kPa
ConeJet TX-VS12	24,79 a	29,00 a	39,00 a
TeeJet TTJ60-11002	10,34 d	16,96 c	19,21 c
TeeJet TT-11002	12,43 cd	16,35 c	21,04 c
TeeJet TTI-11002	1,30 e	1,44 d	2,68 e
Hypro 3D100-02	20,22 b	23,61 b	26,76 b
Hypro 3D100-03	14,93 c	17,79 c	20,17 c
Hypro GA110-03	5,10 e	5,33 d	7,33 d

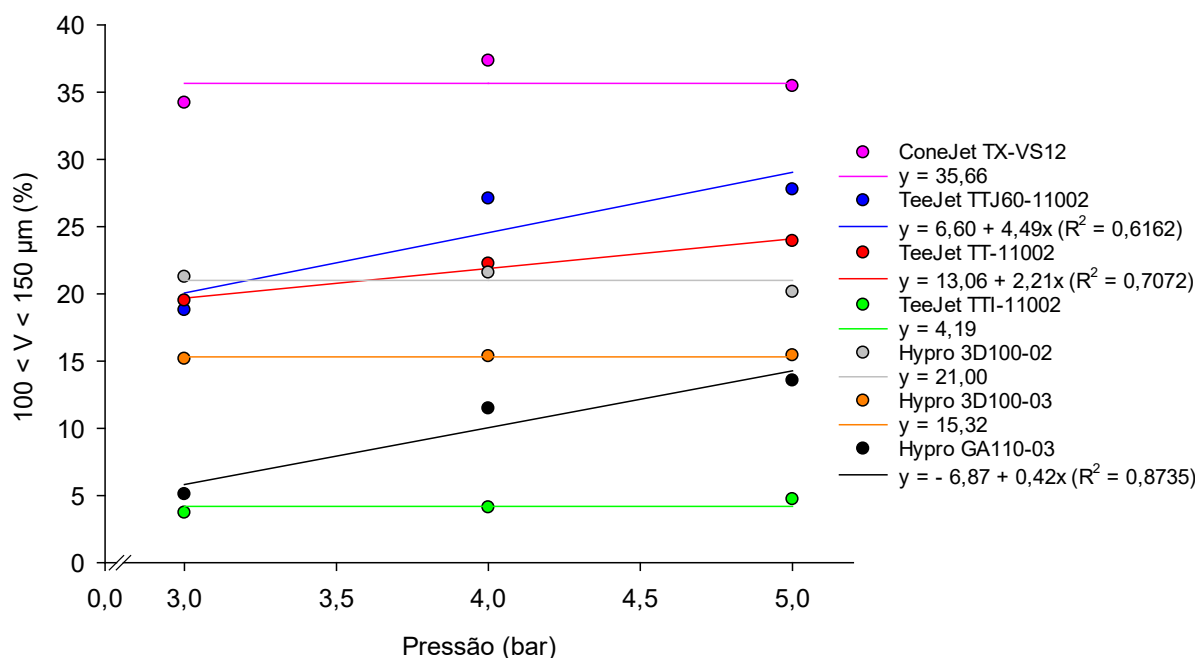
As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: A autora.

Observa-se que a TeeJet TTI-11002 apresentou os menores valores para todas as pressões de trabalho exploradas, sendo de 1,30, 1,44 e 2,68% para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 7). Conforme o fabricante, esta ponta apresenta tamanho de gotas ultra grossas para as pressões de 300 e 400 kPa, e extremamente grossas para 500 kPa, o que explica o aumento do percentual de acordo com o aumento da pressão. Conquanto, para 300 e 400 kPa, esta ponta não diferiu significativamente da Hypro GA110-03. Roman et al. (2010) e Massola et al. (2018) constataram que a vazão do bocal também influencia no tamanho de gotas, ou seja, quanto maior a vazão, maior será o diâmetro das gotas. Sabe-se que esta ponta possui gotas grossas para todas as pressões analisadas, além de possuir maior vazão em relação as demais.

Apresentam-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, valores médios de percentual de volume para a faixa correspondente de tamanho de gotas entre 100 e 150 μm ($100 < V\% < 150 \mu\text{m}$) para cada ponta hidráulica e pressão de operação.

Figura 6 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas entre 100 e 150 μm ($100 < V\% < 150 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.



Fonte: A autora.

Constata-se que a ponta ConeJet TX-VS12 diferenciou significativamente das demais em relação a todas as pressões analisadas, conforme apresentado na Tabela 8. O percentual de volume entre 100 e 150 μm foi de, respectivamente, 34,21, 37,34 e 35,35 para as pressões de 300, 400 e 500 kPa (Tabela 8). Segundo o fabricante, em 500 kPa, esta ponta apresenta gotas muito finas, enquanto que nas pressões anteriores analisadas, as gotas eram apenas finas. Nota-se que o menor valor de percentual dessa faixa de volume para esta ponta foi em 500 kPa, justamente pela classificação de tamanho de gota. Com gotas muito finas, a faixa de volume maior para esta ponta passa a ser com diâmetro menor que 100 μm , conforme visto na Tabela 7.

Tabela 8 - Valores médios de $100 < V\% < 150 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.

Ponta hidráulica	$100 < V\% < 150 \mu\text{m}$		
	300 kPa	400 kPa	500 kPa
ConeJet TX-VS12	34,21 a	37,34 a	35,45 a
TeeJet TTJ60-11002	18,79 b	27,09 b	27,77 b
TeeJet TT-11002	19,51 b	22,25 c	23,92 c

TeeJet TTI-11002	3,72 d	4,12 f	4,72 f
Hypro 3D100-02	21,27 b	21,58 c	20,15 d
Hypro 3D100-03	15,17 c	15,36 d	15,42 e
Hypro GA110-03	5,10 d	11,47 e	13,56 e

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: A autora.

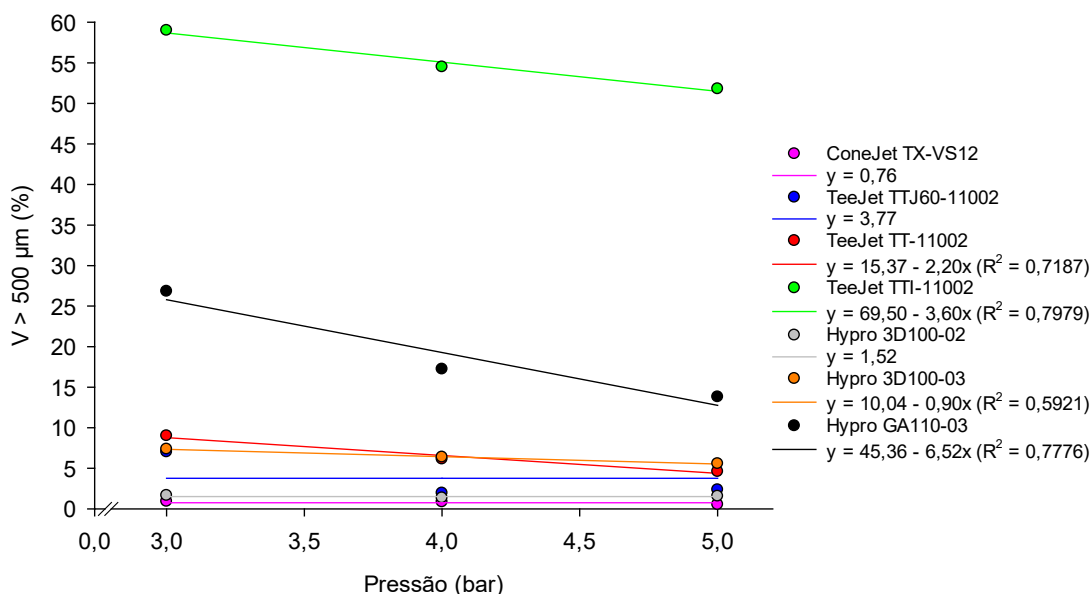
Nota-se que as pontas TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002 e Hypro 3D100-02 não diferiram entre si na pressão de trabalho de 300 kPa, obtendo os percentuais de 18,79, 19,51 e 21,27, respectivamente (Tabela 8). Entretanto, para 400 e 500 kPa, a TeeJet TTJ60-11002 diferiu significativamente das demais, com 27,09 e 27,77%, respectivamente. Segundo o fabricante, a TeeJet TTJ60-11002 possui gotas grossas em 300 kPa, e gotas médias para 400 e 500 kPa. Isso explica o fato do percentual de volume entre 100 e 150 μm ter aumentado, conforme o aumento das pressões.

Verifica-se que a TeeJet TT-11002 e Hypro 3D100-02, novamente, não diferiram entre si, sendo de, respectivamente, 22,25 e 21,58% para a pressão de 400 kPa (Tabela 8). Entretanto, para 500 kPa, as duas pontas de pulverização diferiram significativamente, obtendo valores de, respectivamente, 23,92 e 20,15% (Tabela 8). Segundo os fabricantes, o tamanho de gotas para essas pontas em todas as pressões de trabalho são as mesmas, sendo de, respectivamente, médias e finas. Isso explica o fato da ponta TeeJet TT-11002 apresentar maiores valores para essa faixa de percentual de volume. Como a Hypro 3D100-02 apresenta gotas finas, a faixa de percentual de volume com maiores valores é a com diâmetro menor que 100 μm (Tabela 7).

Observa-se que a TeeJet TTI-11002 apresentou os menores valores para todas as pressões de trabalho exploradas, sendo de 3,72, 4,12 e 4,72% para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 8). Conforme o fabricante, esta ponta apresenta tamanho de gotas ultra grossas para 300 e 400 kPa, e extremamente grossas para 500 kPa, o que explica o aumento do percentual de acordo com o aumento da pressão. Entretanto, os baixos valores para essa faixa de volume são explicados conforme a faixa de volume aumenta, como é o caso para os diâmetros maiores que 500 μm , apresentados na Tabela 9. Nela, constatam-se os maiores valores para a ponta TeeJet TTI-11002, justificando o tamanho de gotas elevado.

Apresentam-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, valores médios de percentual de volume para a faixa correspondente ao tamanho de gotas maior que 500 μm ($V\% > 500 \mu\text{m}$) para cada ponta hidráulica e pressão de operação.

Figura 7 - Comportamento do percentual de volume que corresponde aos tamanhos de gotas maiores que 500 μm ($V\% > 500 \mu\text{m}$) em todas as pontas hidráulicas, para todas as pressões de trabalho e equações ajustadas com seus valores médios observados.



Fonte: A autora.

Constata-se que a ponta TeeJet TTI-11002 diferenciou significativamente das demais em relação a todas as pressões analisadas, obtendo os maiores valores para volumes maiores que 500 μm , conforme apresentado na Tabela 9. Os valores foram de, respectivamente, 59,00, 54,48 e 51,79 para as pressões de 300, 400 e 500 kPa (Tabela 9). Sabe-se que conforme o valor de pressão aumenta, o tamanho de gotas diminui, o que explica o fato do percentual de volume de gotas com diâmetro acima de 500 μm nessa faixa de volume diminuir.

Tabela 9 - Valores médios de $V\% > 500 \mu\text{m}$ para as respectivas combinações de pontas hidráulicas e pressões de trabalho.

Ponta hidráulica	$V\% > 500 \mu\text{m}$		
	300 kPa	400 kPa	500 kPa
ConeJet TX-VS12	0,91 d	0,84 d	0,54 e
TeeJet TTJ60-11002	7,02 c	1,94 d	2,34 de
TeeJet TT-11002	9,00 c	6,14 c	4,61 cd
TeeJet TTI-11002	59,00 a	54,48 a	51,79 a
Hypro 3D100-02	1,65 d	1,35 d	1,55 de

Hypro 3D100-03	7,36 c	6,38 c	5,56 c
Hypro GA110-03	26,83 b	17,22 b	13,79 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: A autora.

Percebe-se que a Hypro GA110-03 também apresenta destaque, sendo a segunda ponta de pulverização com maiores valores percentual para essa faixa de volume. Para as pressões de aplicação de 300 e 400 kPa, os valores foram de 26,83, 17,22 e 13,79%, respectivamente (Tabela 9). Os valores diferem significativamente das demais pontas de pulverização para todas as pressões exploradas. Segundo o fabricante, esta ponta apresenta tamanho de gotas grossa, o que explica os valores elevados para essa faixa de volume. Tamanho de gotas maiores representam baixo potencial de deriva. Entretanto, pelo elevado diâmetro, estão susceptíveis a escorrimento.

Os menores valores percentuais apresentados são referentes a ponta de pulverização ConeJet TX-VS12. Para a pressão de 300 kPa, o valor encontrado foi de 0,91%, não diferindo significativamente da ponta Hypro 3D100-02, com 1,65%. Já em 400 e 500 kPa, a ponta não diferiu significativamente da TeeJet TTJ60-11002 e Hypro 3D100-02, obtendo os valores 0,84, 1,94 e 1,35% para 400 kPa, e de 0,54, 2,34 e 1,55% para 500 kPa, respectivamente (Tabela 9). Conforme o fabricante, a ponta hidráulica ConeJet TX-VS12 apresenta tamanho de gotas finas para 300 e 400 kPa, e muito finas para 500 kPa. Isto explica os valores baixos dessa ponta para essa faixa de percentual de volume, e o valor ainda mais baixo para 500 kPa. Gotas finas e muito finas são mais susceptíveis a potencial de deriva. As faixas de percentual que mais pontuam são as anteriormente analisadas, com diâmetros menores que 100 μm (Tabela 7) e entre 100 e 150 μm (Tabela 8).

4. Conclusões

- As pontas de pulverização com maiores valores de vazão foram as Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03.
- A ponta ConeJet TX-VS12 apresentou melhor homogeneidade do espectro de gotas, independentemente das pressões de trabalho estudadas.
- A ponta com maiores valores de SPAN, ou seja, a mais heterogênea em relação ao tamanho de gotas, foi a TeeJet TTI-11002.
- O diâmetro das gotas produzido pelas pontas analisadas diminuiu com o aumento das pressões de trabalho.
- O percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm aumentou conforme o aumento da pressão de trabalho.
- A ponta com maior potencial de deriva foi a ConeJet TX-VS12.
- A ponta com maior potencial de escorrimento foi a TeeJet TTI-11002.

5. Referências bibliográficas

Ahmad, F., Qiu, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, S., Chandio, F. A. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and offtarget zones during outer field weed control application. **Computers and Electronic in Agriculture**, v. 172, p. 105-121, 2020.

Butts, T. R., Butts, L. E., Luck, J. D., Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Kruger, G. R. Droplet size and nozzle tip pressure from a pulse-width modulation sprayer. **Biosystems Engineering**, v. 178, p. 52-69, 2019.

Chao, X. G.; Chen, N. S.; Qiu, W.; Lv, X. L.; Li, H.; Han, C. J.; Ahmad, F. Simulation and validation of the air flow generated by a multi-channel air-assisted sprayer. **IEE Acc**, v. 07, p. 94848-94857, 2019.

Creech, C.F., R.S. Henry, B.K. Fritz, G.R. Kruger. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. *Weed Technol*, v. 29, n. 02, p. 298 – 310, 2015.

Dorneles, A.B.; Bottega, E.L.; Oliveira, Z.B.; Knies, A.E.; Silva, C.M.; Souza, I.J. Uso de diferentes pontas de pulverização no controle de doenças no trigo. **Ciência e Natura**, v. 40, p. 11-17, 2019.

Godinho Júnior, J. D., Vieira, L. C., Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., Faria, V. R., Carvalho Filho, A. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 04, p. 550-554, 2017.

Lauber, V. A. Adaptação de pulverizador costal para melhoria nos parâmetros de aplicação de defensivos agrícolas. **Trabalho de conclusão de curso**, UFSC, 2019.

Lopes, L.L.; Reis, E.F. 2020.Spectrum of spray droplets with different nozzles and adjuvants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-6, 2020.

Maciel, C. F. S.; Teixeira, M. M.; Fernandes, H. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R. Droplets spectrum at different vapour pressure deficits. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 01, p 41-46, 2016.

Maciel, C. F. S.; Teixeira, M. M.; Fernandes, H. C.; Vitória, E. L.; Cecon, P. R. Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, p. 183-199, 2017.

Maciel, C. F. S.; Teixeira, M. M.; Fernandes, H. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 03, p. 430-436, 2018.

Marangoni Junior, A.; da Costa Ferreira, M. **Influence of working pressure and spray nozzle on the distribution of spray liquid in manual backpack sprayers.** *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 86, p. 1-9, 2019.

Martins, R. N.; Moraes, H. M. F.; Freitas, M. A. M.; Lima, A. C.; Furtado Júnior, M. R. Effect of nozzle type and pressure on spray droplet characteristics. **Idesia**, v. 39, n. 01, p. 101-107, 2021.

Massola, M.P.; Holtz, V.; de O. Martins, M.P.; da S. Umbelino, A.; dos Reis, E.F. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 11, p. 804-809, 2018.

Prado, E. P. Papel da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas na redução da contaminação ambiental. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 01, p.01-02, 2017.

Rodrigues, G. J.; Teixeira, M. M., Alvarenga, C.B. Desempenho operacional de pontas hidráulicas na determinação de parâmetros da pulverização hidropneumática. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 01, p, 8-15, 2012.

Roman, R. A. A.; Ferreira, M. C.; Carvalho, G. F. C.; Baggio, M. V. Spraying Distribution, Symmetry of Fan and Droplet Size to Spray Nozzles TF-VS2. **Planta Daninha**, v. 28, n. 04, p. 897-905, 2010.

Santos, D. W. F. N., Forastiere, P. R., Santos, F. S., Silva, R. M., Guazzelli, T. M. Determinação do ângulo do jorro de pontas hidráulicas utilizando métodos convencionais e processamento digital de imagens. **Revista Nativa**, v. 05, n. 03, p. 199-202, 2017.

Schmidt, E. R., Silva, W., Ambrosio, T. J., Schmidt, O., Nascimento, A. L., Fernandes, A. A. Coefficient of variation as a measure of accuracy in lettuce experiments. **Revista Agroambiente Online**, v. 11, n. 04, p. 290-295, 2017.

Scudeler, F.; Raetano, C.G. Spray deposition and losses in potato as a function of air-assistance and sprayer boom angle. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 06, p. 515-521, 2006.

Vieira, L. C.; Godinho Júnior, J. D.; Ruas, R. A. A.; Faria, V. R.; Carvalho Filho, A. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 03, p. 331-340, 2019.

Vitoria, E. L.; Leite, J. U. Q. Espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1551-1559, 2014.

Artigo II

PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS EM
DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO

1. Introdução

O aumento da população mundial gera preocupação quando o assunto é alimentação. Segundo a FAO (2015), a população global será superior a 8 e 9,5 bilhões em 2024 e 2050, respectivamente, demandando maior oferta por alimentos. Uma alternativa para obter quantidades maiores de alimentos é a utilização correta da aplicação de defensivos agrícolas, pois sua finalidade é reduzir perdas de produção e produtividade na exploração agrícola. Assim, aumenta-se a produtividade, obtendo mais alimentos com a mesma área (Prado, 2017; Saath & Fachinello, 2018; Bhakta et al., 2019; Abbas et al., 2020).

Para garantir a eficiência e a eficácia dos defensivos agrícolas é necessário adotar técnicas adequadas de aplicação, garantido que o produto seja depositado no alvo na quantidade correta para garantir sua ação biológica. O desenvolvimento tecnológico e a difusão de conhecimento técnico são fundamentais para a correta utilização dos defensivos no campo, permitindo assim maior controle dos fatores que comprometem a produtividade das lavouras. Podemos citar nesse contexto as pontas hidráulicas, que são dispositivos atomizadores amplamente utilizados na agricultura e que tem passado por um processo de desenvolvimento pronunciado nas últimas décadas. As pontas hidráulicas são de suma importância pois além de fracionar o líquido em gotas são também responsáveis pelas características do espectro obtido na atomização, fatores essenciais para se alcançar uma aplicação eficiente (Godinho Junior et al., 2017; Santos et al., 2017; Peixoto et al., 2020).

Um dos pilares da aplicação de defensivos é a uniformidade de distribuição de calda na área tratada, no sentido de assegurar que a quantidade de produto estabelecida para o tratamento atinja o alvo planejado. Na aplicação com equipamentos hidráulicos a uniformidade tem forte relação com o padrão de distribuição transversal de líquido das pontas, sendo esse padrão conhecido pelo termo perfil. Cada tipo de ponta apresenta um perfil característico, mas basicamente todas elas vão apresentar uma tendência de maior deposição na parte central em relação às periferias, o que para obtenção de uma distribuição superficial uniforme exige que os perfis se sobreponham de alguma forma. A uniformidade de aplicação pode ser avaliada pelo parâmetro estatísticos coeficiente de variação, que mede a dispersão do volume de líquido distribuído (Maciel et al., 2017; Santos et al 2017; Kullmann & Dias, 2020; Peixoto et al., 2020).

O coeficiente de variação adequado para qualquer aplicação tem o limite de 7%, segundo a norma EN 12761-2 (2001), se for obedecida a recomendação do fabricante sobre altura da barra e pressão de trabalho. Entretanto, há alteração desse valor conforme o tipo de ponta hidráulica. A ponta cônica vazia, por exemplo, apresenta picos de deposição em suas extremidades do perfil, o que ocasiona maiores valores de coeficiente de variação, prejudicando a uniformidade de distribuição (Garcerá et al., 2017; Maciel et al., 2017; Schmildt et al., 2017; Massola et al., 2018).

A pressão de trabalho é outro fator importante a ser analisado na aplicação. Segundo Massola et al. (2018), pode-se aumentar a cobertura do alvo com a combinação adequada entre pontas de pulverização e pressão de trabalho. Com o aumento da pressão, ocorre a diminuição do tamanho de gotas pulverizado. Quando a gota é muito fina, tem-se perda por deriva e evaporação, influenciando assim, no perfil de deposição, e conseqüentemente, na uniformidade de distribuição (Maciel et al., 2017; Prado, 2017; Schmildt et al., 2017; Lauber, 2019).

Outro fator a ser considerado na uniformidade de distribuição é o coeficiente de assimetria. Em uma distribuição ideal, este coeficiente assumiria o valor de zero, mantendo-se igual para os dois lados de sua distribuição no perfil de deposição. As pontas hidráulicas podem assumir assimetria à esquerda ou à direita, o que ocasiona em valores de coeficientes negativos e positivos, respectivamente (Vitória et al., 2011; Maciel et al., 2017).

Com o constante desenvolvimento de inovações tecnológicas sobre pontas hidráulicas no mercado, é importante desenvolver novos estudos. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar o perfil de deposição, a uniformidade de distribuição e a simetria de modelos de pontas de pulverização com inovações tecnológicas em diferentes valores de pressão de trabalho.

2. Material e métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, Minas Gerais.

Para o trabalho, foram selecionadas sete pontas, para avaliação das características operacionais, sendo uma ponta hidráulica convencional (ConeJet TX-VS12) e seis com tecnologia antideriva (TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002, Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03). As pontas ConeJet TX-VS12, Hypro 3D100-02 e Hypro 3D100-03 são indicadas para herbicidas, fungicidas e inseticidas de contato, enquanto que as pontas TeeJet TTI-11002 e Hypro GA110-03 são indicadas para o uso sistêmico. Por sua vez, as pontas TeeJet TTJ60-11002 e TeeJet TT-11002 são recomendadas para o uso de contato e sistêmico em todos os casos. Na sequência, foram escolhidas três pressões de operações das pontas, com a finalidade de ter tamanhos de gotas diferentes, sendo estas: 300, 400 e 500 kPa.

2.1 Caracterização do perfil de deposição e assimetria do jato

Para a realização do trabalho, foi utilizada uma bancada de testes padrão e específica para a determinação do perfil e da uniformidade de distribuição (Figura 8). O equipamento foi construído de acordo com a norma ISO 5682-1 (1996). Tal bancada é constituída por 60 canaletas de 5 cm de largura, nas quais coletam o líquido pulverizado e o direcionam a provetas graduadas, onde procedeu a leitura do volume depositado em cada canaleta, após um minuto para cada repetição. Foram realizadas cinco repetições para cada pressão de trabalho, dentro de cada ponta hidráulica selecionada. A nível de estudo, o líquido pulverizado foi somente água.

A barra de pulverização da bancada é composta por cinco bocais com espaçamento ajustável para acoplamento das pontas, mecanismo para ajuste da altura e sistema para monitorar/controlar a pressão de pulverização. O espaçamento entre pontas e o mecanismo de ajuste de altura foram ajustados para 50 cm. O sistema de pressurização do líquido também é composto por uma bomba de três cilindros da marca WEG, com 2,0 cv (1,47 kW) de potência, reservatório de 125 L e filtro de linha do tipo tela, além de um manômetro da marca Wika para monitoramento e ajuste da pressão de funcionamento.

Figura 8 – Bancada padrão para testes de distribuição utilizada no experimento.



Fonte: A autora.

O perfil de distribuição determina o padrão de distribuição volumétrica da ponta de pulverização ao longo da sua faixa de distribuição. É um fator característico de cada tipo de ponta, sendo diferente também conforme a pressão de trabalho. No experimento, foi colocada uma ponta no meio da bancada padrão de testes, pulverizando o líquido durante um minuto (Norma ISO 5682-1), nas pressões de trabalho anteriormente determinadas. Após o tempo, coletaram-se os volumes de cada proveta. Com esses valores em percentual, foi feito gráfico de barras em 3D para cada modelo de ponta de pulverização, conforme suas pressões de operação analisadas.

A determinação da assimetria de distribuição de líquido das pontas hidráulicas foi realizada por meio do segundo coeficiente de assimetria de Pearson (Equação 3), utilizando os valores obtidos na determinação do perfil de distribuição do líquido para as três pressões estudadas, em metodologia proposta por Vitória et al. (2011).

$$A_s = \frac{3(\bar{x} - M_d)}{s} \quad (3)$$

em que,

A_s – Coeficiente de assimetria de Pearson, adimensional;

\bar{x} – Média dos valores relativos de volume coletados na proveta por ponta, %;

M_d – Mediana dos valores relativos de volume coletados na proveta por ponta, %;

s – Desvio padrão dos valores relativos de volume coletados na proveta por ponta, %.

2.2 Caracterização da uniformidade de distribuição

A uniformidade de distribuição foi estimada utilizando o perfil de deposição, com auxílio de planilha eletrônica. Foi realizada simulação de sobreposição das pontas hidráulicas considerando espaçamento entre pontas de 50 cm. Assim, a uniformidade de distribuição foi expressa por intermédio do coeficiente de variação do volume coletado nas provetas da bancada de testes, calculado de acordo com a Equação 4.

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (v_i - \frac{\sum v_i}{n})^2}}{\frac{\sum v_i}{n}} \times 100 \quad (4)$$

em que,

CV - Coeficiente de variação, %;

v_i – Volume acumulado obtido pela simulação da sobreposição a cada 5 cm de perfil de deposição, mL;

n - Número de provetas amostradas.

2.3 Correlação entre os coeficientes de assimetria e de variação

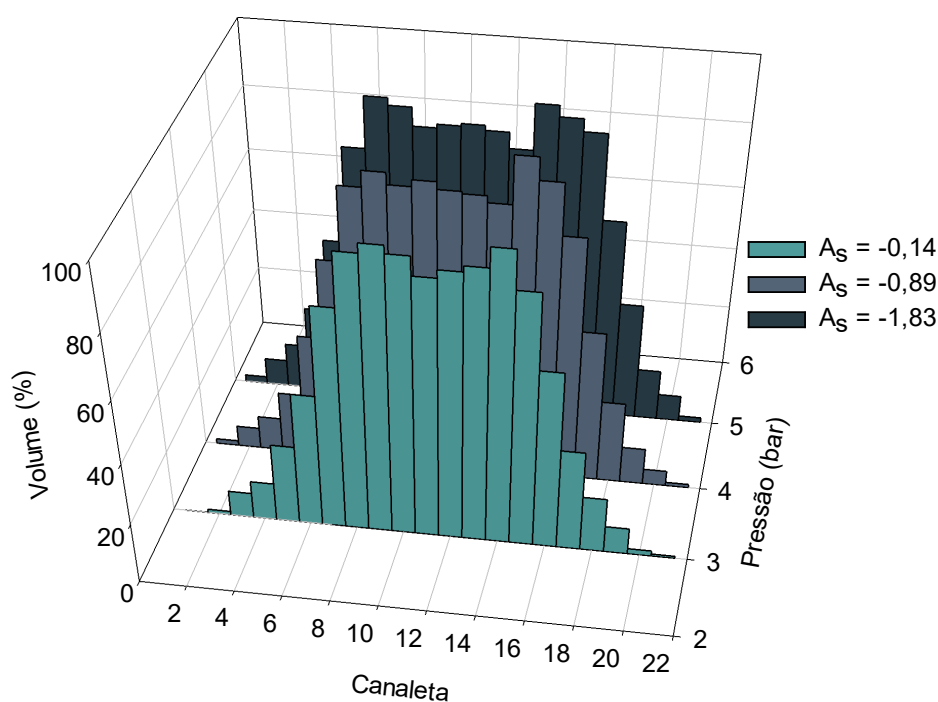
A correlação mede a força de relacionamento linear entre duas variáveis. Foi calculada em planilha eletrônica, utilizando os valores de coeficiente de assimetria e coeficiente de variação para cada modelo de ponta e em cada pressão de trabalho analisada.

3. Resultados e discussão

3.1 Perfil de deposição e assimetria do jato

Apresenta-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o perfil de deposição da ConeJet TX-VS12 ao longo da faixa de distribuição para as pressões analisadas, em conjunto com a assimetria de cada perfil. Observa-se que, com o aumento da pressão de trabalho, há o aumento do percentual de volume depositado e da assimetria do jato (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 9 - Perfil de distribuição volumétrica e assimetria do jato da ConeJet TX-VS12 ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas.



Fonte: A autora.

A ponta de pulverização ConeJet TX-VS12 apresentou picos em suas extremidades e volumes de líquido pulverizado menores em sua região central, independente da pressão de trabalho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), caracterizando-se como o perfil de deposição de ponta do tipo cônica vazia. Massola et al. (2018) ao utilizar a ponta ATR-1.0, também cônica vazia, constataram deposição maior nas periferias e inferior em seus centros, nos seus perfis de distribuição, para todas as pressões de trabalho analisadas, conforme o presente estudo. Maciel et al.

(2017) encontraram resultados similares para a ponta MAG-2, quando utilizaram as pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa. Segundo os autores, este fato é importante para definir um perfil característico para esse tipo de ponta. Os mesmos autores constataram maior evidência desse perfil característico na menor pressão de trabalho, sendo o contrário do presente estudo. Os maiores valores de volume de líquido depositado foram relacionados a maior pressão analisada, de 500 kPa, para as extremidades e regiões centrais, sendo de 81,2 e 76,1%, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Çetin et al. (2019) analisaram pontas cônicas vazias (HC 1.0, HC 1.2 e HC 1.5) e obtiveram o mesmo padrão de perfil, para as pressões de 200, 400 e 600 kPa, concluindo que todos os gráficos coincidiram entre si.

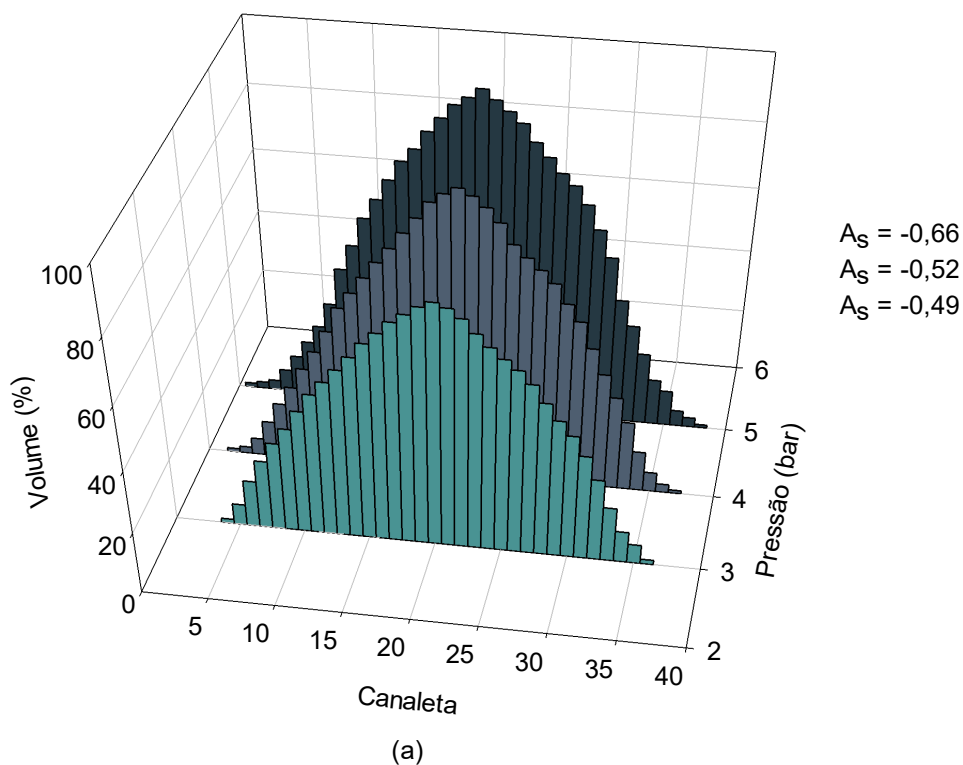
Embora as pontas hidráulicas possuem objetivo de fabricação de apresentarem distribuição simétrica nos jatos, torna-se difícil sua obtenção na prática. Conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os coeficientes de assimetria calculados para as pontas hidráulicas mostram que realmente apresentam assimetria de distribuição do jato, e que a mesma sofre influência da pressão de trabalho.

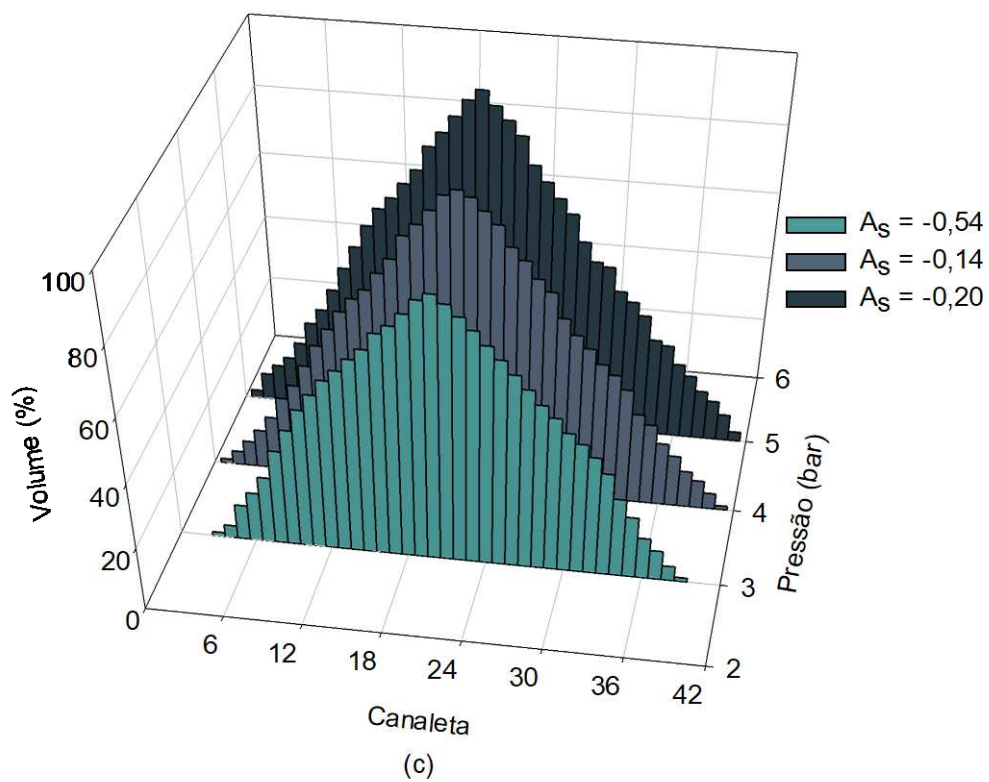
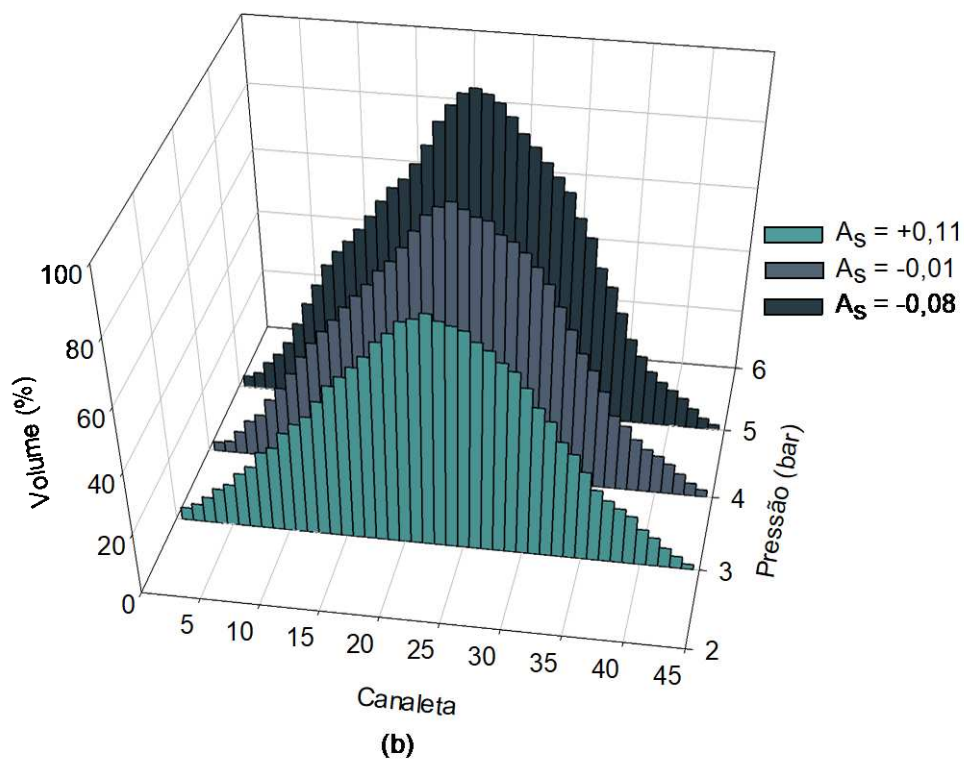
Considerando-se que uma ponta simétrica apresentaria coeficiente de assimetria igual a zero, a assimetria apresentada pelas pontas testadas foi baixa, o que representa um padrão próximo a ponta simétrica. Observa-se valores de assimetria pelo lado esquerdo do jato da ponta, por apresentar valor negativo para o coeficiente de assimetria. O maior valor apresentado da ConeJet TX-VS12 foi de 1,83, em 500 kPa, sendo também o maior valor entre todas as pontas analisadas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Constata-se que, com o aumento da pressão de trabalho, há o aumento do percentual de volume depositado para todas as pontas de pulverização e da assimetria do jato para a TeeJet TTJ60-11002 na Figura 10.

Nota-se que a ponta hidráulica TeeJet TTJ60-11002 apresenta perfil de deposição bastante semelhante para todas as pressões analisadas, alterando apenas o percentual de volume depositado (Figura 10 – a). A característica desta ponta é apresentar duplo leque, o que favorece o perfil de distribuição ser o mais homogêneo em ambos os lados, quando comparado com as demais pontas convencionais (Figura 10 – b e c). Segundo o fabricante, a TeeJet TTJ60-11002 a 300 kPa possui gotas grossas, enquanto que a 400 e 500 kPa, o tamanho de gotas é médio. Notam-se

maiores falhas no lado direito dos perfis de distribuição em 400 e 500 kPa, o que pode ser pelo fato do tamanho de gota ser alterado pela pressão de trabalho.

Figura 10 - Perfis de distribuição volumétrica e assimetria das pontas hidráulicas ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas. Sendo: (a) TeeJet TTJ60-11002; (b) TeeJet TT-11002 e (c) TeeJet TTI-11002.





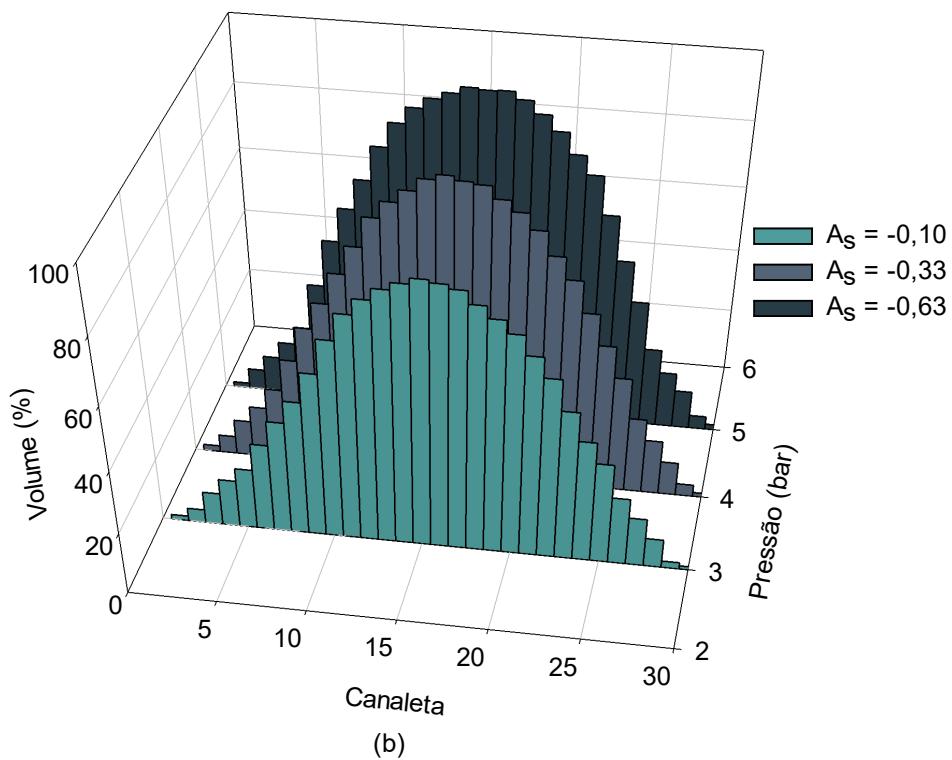
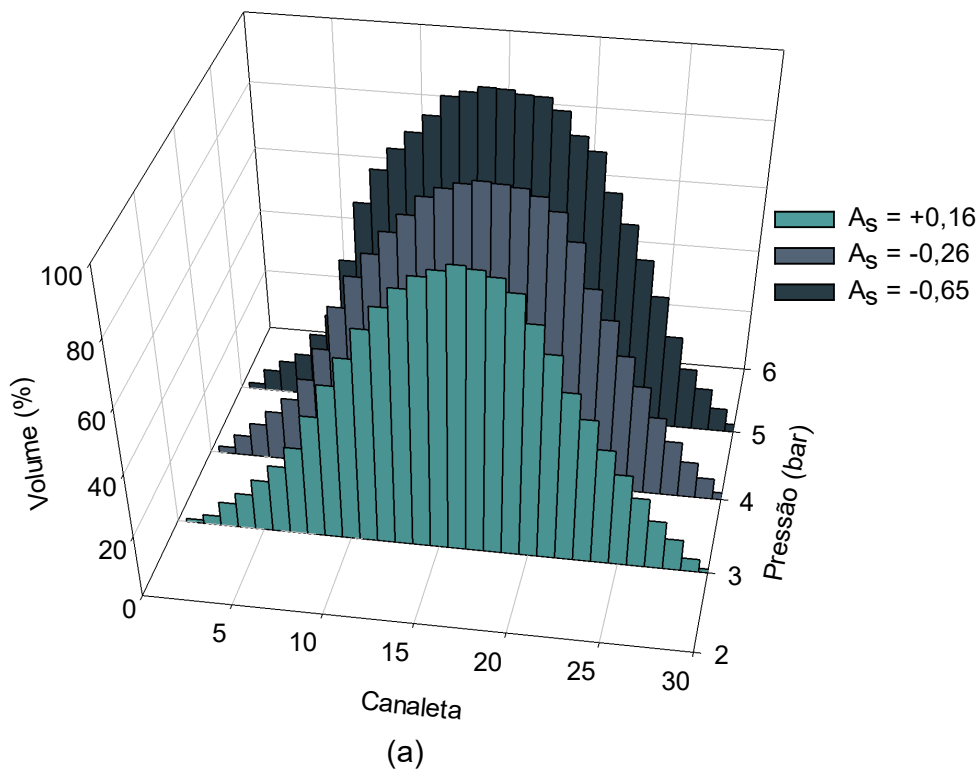
Fonte: A autora.

Conforme Maciel et al. (2017), ao analisarem a ponta de pulverização LD 11002, o perfil de distribuição se deu bem característico também, apresentando-se de forma triangular, com maiores porcentagens de volume depositado nos centros. Ferreira et al. (2011) também constataram que os perfis foram influenciados pela pressão de trabalho, para as pontas AI 11005 e TTI 110015. Os mesmos autores identificaram que à medida que a pressão de trabalho aumenta, o perfil de distribuição aumenta, em relação ao volume de líquido depositado.

Observa-se que o menor valor exibido para o coeficiente de assimetria foi de 0,01, com assimetria pelo lado esquerdo, sendo da ponta TeeJet TT-11002 na pressão de 400 kPa (Figura 10 – b). Maciel et al. (2017) relataram valores semelhantes aos observados neste trabalho, ao avaliarem o coeficiente de assimetria na ponta LD 110-02, variando de 0,029 a 0,561, todos à esquerda do jato, sob as pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa. Vitória et al. (2011) avaliaram a assimetria das pontas AXI 110-015, AXI 110-02 e AXI 110-03, encontrando valores variando de 0,16 a 0,37, com assimetria pelos dois lados, nas pressões de 150, 300 e 400 kPa. Viana et al. (2007) estudaram a simetria do jato nas pontas LA-1JC e SR-1, também observando assimetria pelos dois lados. Os autores indicam que o índice de simetria é importante quando avaliado o perfil de forma isolada da ponta e sua sobreposição.

As pontas Hypro 3D100-02 e 3D100-03, apesar de possuírem vazões nominais diferentes, apresentaram perfis de distribuição muito similares, com valores de assimetria próximos (Figura 11 – a e b). Nota-se que os perfis de distribuição são bem homogêneos, o que se deve ao fato da angulação de ataque destas pontas. O aumento da vazão não atrapalhou em sua homogeneidade nos perfis, independentemente das pressões de trabalho estudadas (Figura 11). As pontas de pulverização 3D são relativamente novas no mercado e prometem um espectro de gotas homogêneo em uma faixa maior de pressões de trabalho, porém ainda faltam dados na literatura para confrontar com a informações obtidas. Ainda assim, pode-se notar que são pontas de pulverização promissoras no quesito aplicação de defensivos, prometendo ser uma das melhores soluções para produtos de contato.

Figura 11 - Perfis de distribuição volumétrica e assimetria das pontas hidráulicas ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas. Sendo: (a) Hypro 3D100-02 e (b) Hypro 3D100-03.

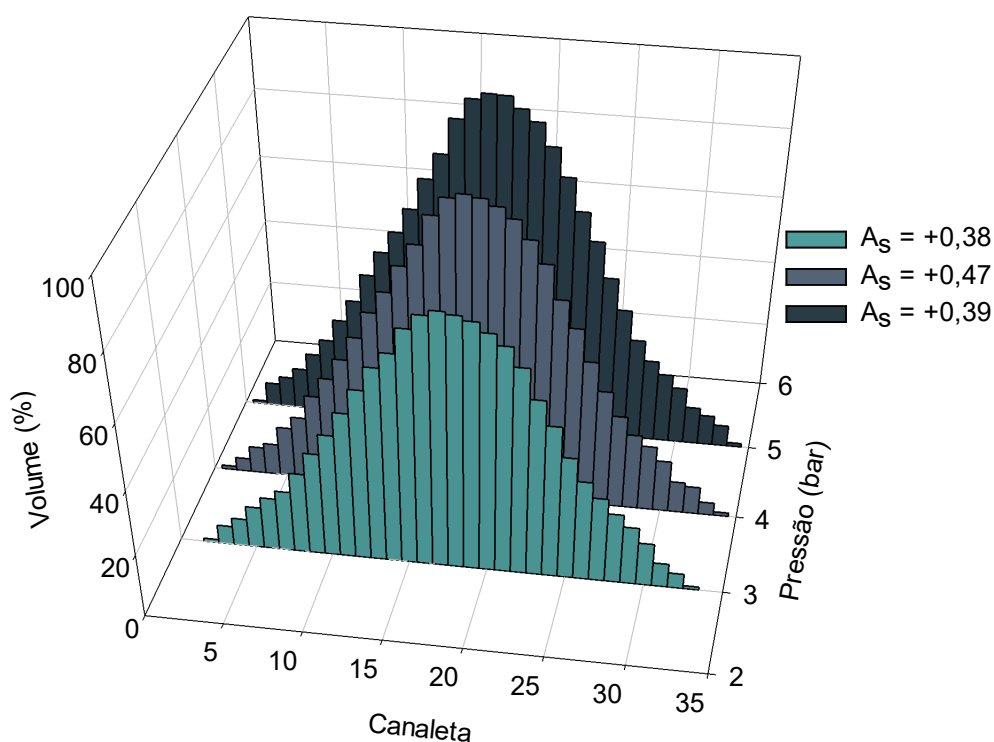


Fonte: A autora.

Por fim, tem-se outra ponta com características diferentes das convencionais, com tecnologia antideriva e indução de ar, a Hypro GA110-03. Os coeficientes de assimetria foram assimétricos para o lado direito, para todas as pressões de trabalho (Figura 12)

Segundo o fabricante, além de possuir a tecnologia de jato com leve inclinação, o que proporciona alta penetração e cobertura, possui indução de ar, o que gera um espectro de gotas ainda mais homogêneo, sendo capaz de não produzir deriva excessiva (Comam, 2021). Observa-se que o perfil de distribuição é bem semelhante aos das Hypro 3D100-02 e Hypro 3D100-03, até mesmo por ser desenvolvida a partir da 3D, caracterizando-se também, bem homogêneo, independentemente da pressão de trabalho estudada (Figura 12).

Figura 12 - Perfil de distribuição volumétrica e assimetria do jato da Hypro GA110-03 ao longo da faixa de distribuição para as pressões de trabalho utilizadas.



Fonte: A autora.

Verifica-se que a ponta Hypro GA110-03 apresentou assimetria pelo lado direito, em todas as pressões de trabalho, sendo de 0,38, 0,47 e 0,39,

respectivamente, para 300, 400 e 500 kPa. As pontas TeeJet TT-11002 (Figura 10 – b) e Hypro 3D100-02 (Figura 11 – a), na pressão de 300 kPa, também apresentaram assimetria para o lado direito.

3.2 Uniformidade de distribuição das pontas hidráulicas

Todas as pontas hidráulicas estudadas são recomendadas para trabalhar à altura de 50 cm do solo. Segundo Massola et al. (2018), o limite do coeficiente de variação para os parâmetros definidos pelo fabricante sobre altura da barra e pressão de trabalho é de 7%. Dentro deste valor, as pontas hidráulicas apresentam boa uniformidade de distribuição. Conforme apresentado na Tabela 10, a ponta ConeJet TX-VS12 apresentou coeficiente de variação maior que 7%, em todas as pressões analisadas, sendo de 8,88, 16,75 e 22,40% para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. Contudo, é normal as pontas cônicas vazias terem coeficientes de variação até maiores de 30%, pois apresentam picos de volume depositado em suas extremidades do perfil, alterando assim, sua uniformidade de distribuição (Boller & Raetano, 2011; Maciel et al., 2017).

Tabela 10 - Valores de coeficientes de variação (%) apresentados pelas pontas hidráulicas para as respectivas pressões de trabalho (kPa) de acordo com a uniformidade de distribuição.

Pressão (kPa)	Ponta hidráulica						
	ConeJet TX-VS12	TeeJet TTJ60-11002	TeeJet TT-11002	TeeJet TTI-11002	Hypro 3D100-02	Hypro 3D100-03	Hypro GA110-03
300	8,88	4,89	1,53	2,77	2,59	2,27	1,16
400	16,75	3,92	2,15	1,31	3,59	1,47	1,18
500	22,40	3,23	2,29	1,80	4,11	2,70	1,13

Para os valores de coeficientes de variação (CV(%)), as cores vermelho, amarelo e verde indicam, respectivamente, $CV(\%) \geq 13,00$, $7,00 < CV(\%) < 13,00$ e $CV(\%) \leq 7,00$.

Fonte: A autora.

Segundo Maciel et al. (2017), ao avaliarem a ponta hidráulica MAG-2, também do jato cônico vazio, nas pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa, constataram má uniformidade de distribuição. Os coeficientes de variação obtidos pelos autores foram de 24,46, 5,53, 6,59 e 6,27%, respectivamente, sendo diferente do encontrado no presente estudo para 300 e 400 kPa (Tabela 10). Isto acontece devido à coalescência das gotas. A coalescência acontece neste tipo de ponta de pulverização justamente por não ser possível a defasagem entre elas, como acontece com os demais tipos de pontas. Com isso, há choque entre as gotas, causando maior concentração de volume

depositado entre as pontas. Conseqüentemente, a aplicação com esta ponta é a mais ineficiente dentre as condições estabelecidas.

As demais pontas apresentaram coeficientes menores de 7% para todas as pressões analisadas (Tabela 10). Caracterizando-se, como pontas hidráulicas que aplicam uniformemente. A ponta Hypro GA110-03 foi a que apresentou menor valor de coeficiente de variação, para todas as pressões de trabalho estudadas, sendo de 1,16, 1,18 e 1,13% para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 10). Tornando-se a ponta com melhor uniformidade de distribuição dentre as analisadas. Conseqüentemente, a aplicação com esta ponta se caracteriza como a mais uniforme conforme essas condições estabelecidas. Massola et al. (2018) ao avaliarem as pontas ATR 1,0 e TVI 800075, cujas características assemelham-se a Hypro GA110-03, constataram melhoria na uniformidade de distribuição para as pressões de 500, 600 e 700 kPa. Os coeficientes de variação apresentados por esses autores foram de 4,37, 5,22, 5,31 e 5,31%, respectivamente.

Nascimento et al. (2014) relataram distribuição irregular nas pontas com indução de ar, apresentando picos em suas extremidades de perfil de deposição e depressões nos centros, o que ocasiona em má uniformidade de distribuição. Este fato demonstra a evolução tecnológica para as pontas hidráulicas com indução de ar desde então. Outra ponta analisada neste experimento, que contém indução de ar, foi a TeeJet TTI-11002. Em termos numéricos, foi a segunda melhor para as pressões de 400 e 500 kPa, obtendo coeficientes de variação de 1,31 e 1,80%, respectivamente.

Com exceção da ponta ConeJet TX-VS12, a ponta de pulverização com maiores valores de coeficiente de variação foi a TeeJet TTJ60-11002, para 300 e 400 kPa. Os valores foram de 4,89 e 3,92%, respectivamente (Tabela 10). Isto é resultado de a ponta apresentar duplo leque na sua aplicação, e ter influência em sua uniformidade de distribuição, uma vez que pode ocorrer sobreposição entre os volumes depositados pelos dois leques.

3.3 Correlação entre coeficientes de assimetria e de variação

A correlação existente entre o coeficiente de assimetria e o coeficiente de variação foi de 0,8079. Sabe-se que quando a correlação é próxima de +1, a relação é diretamente proporcional entre os dois fatores. Ou seja, fica claro que quando o

coeficiente de assimetria aumenta (quando o perfil é mais assimétrico) o coeficiente de variação também aumenta. Com o CV maior, tem-se que a uniformidade é comprometida, gerando má uniformidade e deixando a aplicação mais ineficiente.

4. Conclusões

- A ponta ConeJet TX-VS12 apresentou perfis de distribuição característicos enquanto cônica vazia.
- As pontas Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03 apresentaram padrões de perfis de distribuição homogêneos, prometendo ser bem promissoras para a tecnologia de aplicação.
- A ponta hidráulica ConeJet TX-VS12 apresentou maior valor de coeficiente de variação. Sendo, portanto, a pior em termos de uniformidade de distribuição na aplicação, independentemente das pressões de trabalho estudadas.
- A uniformidade de distribuição do volume aplicado foi melhor para a ponta Hypro GA110-03 independentemente das pressões de trabalho analisadas.
- As pontas de pulverização com melhores uniformidades de distribuição foram as com indução de ar.
- Todas as pontas de pulverização apresentaram assimetria nas pressões de trabalho estudadas.
- A ponta hidráulica mais assimétrica, ou seja, com o maior coeficiente de assimetria, foi a ConeJet TX-VS12, para as pressões de trabalho de 4,0 e 5,0 bar.
- A ponta hidráulica TeeJet TT-11002 apresentou melhor simetria, ou seja, menor coeficiente de assimetria, em todas as pressões de trabalho estudadas.
- Conforme o coeficiente de assimetria aumenta, o coeficiente de variação também aumenta.

5. Referências bibliográficas

Abbas, I., Liu, J., Faheem, M., Noor, R. S., Shaikh, S. A., Solangi, K. A., & Raza, S. M. Different Real-Time Sensor Technologies for the Application of Variable-Rate Spraying in Agriculture. **Sensors and Actuators: A. Physical**, v. 316, p. 112-148, 2020.

Bhakta, I., Phadikar, S., Majumder, K. State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 99, p.4878-4888, 2019.

Boller, W. Raetano, C.G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barra. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, cap. 03, p. 51-82, 2011.

COMAM. Bicos e pontas de pulverização: Ponta Hypro 3D. Disponível em <https://www.comam.com.br/BIC-HY-00-0226>, 2021.

COMAM. Bicos e pontas de pulverização: Ponta Hypro GA 03. Disponível em <https://www.comam.com.br/ponta-de-pulverizacao-hypro-guardianair-azul-ga110-03>. 2021.

EUROPEAN STANDARD. **EN 12761-2**: Agricultural and forestry machinery. Sprayers and liquid fertilizer distributors. Environmental protection. Part 2: Field crop sprayers. Brussels, 18p. 2001.

FAO. **The state of food insecurity in the world 2014**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

Ferreira, M.C.; Lohmann, T.R.; Campos A.P.; Viel, S.R.; Figueiredo, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, v.29, n. 03, p. 697-705, 2011.

Garcerá, C., Moltó, E., Chueca, P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. **Science of the Total Environment**, Elsevier, p. 1344-1362, 2017.

Godinho Júnior, J. D., Vieira, L. C., Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., Faria, V. R., Carvalho Filho, A. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 04, p. 550-554, 2017.

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

Kullmann, S. E., Dias, V. O. Uniformidade de distribuição volumétrica de duas pontas de pulverização sob efeito da assistência a ar na barra. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, p. 339-351, 2020.

Lauber, V. A. Adaptação de pulverizador costal para melhoria nos parâmetros de aplicação de defensivos agrícolas. **Trabalho de conclusão de curso**, UFSC, 2019.

Maciel, C. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Vitória, E. L., Cecon, P. Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. **Engenharia na Agricultura**, p. 183-199, 2017.

Massola, M. P., Holtz, V., Martins, M. P. O., Umbelino, A. S., Reis, E. F. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 22, n.11, p. 804-809, 2018.

Peixoto, R. L., Cunha, I. B. C., Caixeta, D. F. Profile of deposition and flow of TTI 11003 spraying points under diferente levels of wear. **Agronomic Journal**, v. 04, n. 02, p. 01-08, 2020.

Prado, E. P. Papel da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas na redução da contaminação ambiental. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 01, p.01-02, 2017.

Saath, K. C. O., Fachinello, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 02, p.195-212, 2018.

Santos, D. W. F. N., Forastiere, P. R., Santos, F. S., Silva, R. M., Guazzelli, T. M. Determinação do ângulo do jorro de pontas hidráulicas utilizando métodos convencionais e processamento digital de imagens. **Revista Nativa**, v. 05, n. 03, p. 199-202, 2017.

Schmidt, E. R., Silva, W., Ambrosio, T. J., Schmidt, O., Nascimento, A. L., Fernandes, A. A. Coefficient of variation as a measure of accuracy in lettuce experiments. **Revista Agroambiente Online**, v. 11, n. 04, p. 290-295, 2017.

Vitoria, E.L., Teixeira, M.M., Ruas, R.A.A. Coeficiente de assimetria de Pearson como parâmetro de avaliação da uniformidade de distribuição de líquido das pontas de pulverização hidráulicos de jato plano. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 07, n.13, p.222-229, 2011.

Artigo III

POTENCIAL DE DERIVA EM PONTAS DE PULVERIZAÇÃO AVALIADAS SOB
DIFERENTES PRESSÕES E VELOCIDADES

1. Introdução

A aplicação de defensivos é essencial para a produção agrícola moderna. Porém, é de fundamental necessidade o conhecimento sobre a quantidade de produto aplicado e também, das condições meteorológicas no momento em que ocorre a aplicação, com o intuito de aumentar a eficiência da operação de pulverização, garantir a eficácia do produto aplicado e minimizar possíveis danos ao meio ambiente. Condições climáticas inadequadas podem ocasionar perdas acentuadas de produto por meio de deriva e evaporação das gotas. Com perdas de produto, há redução na eficácia do controle fitossanitário, uma vez que chega uma quantidade menor de produto no alvo (Nascimento et al., 2012; Maciel et al., 2018; Wang et al., 2020).

O conceito de deriva é dado pelo deslocamento de produto de maneira indevida em uma aplicação de defensivos, transferindo-se para lugares fora do alvo determinado, geralmente por movimentos de correntes de ar durante a aplicação (ISO 22.866, 2005). A principal variável que influencia na deriva é a velocidade do vento. Este fenômeno acontece, principalmente, com gotas de diâmetro inferior a 100 μm . Com isso, tem-se um indicativo eficiente para determinação de deriva em aplicações com as pontas de pulverização (Godinho Junior et al., 2017; Maciel et al., 2018; Crause et al., 2019; Kullmann & Dias, 2020; Wang et al., 2020).

Com os prejuízos causados pela deriva, como produtos não aplicados e contaminação do solo, são indispensáveis pesquisas sobre o desenvolvimento de pontas com novas tecnologias. A escolha correta de pontas é importante para auxiliar na redução de deriva. Existem modelos de pontas com tecnologia antideriva com indução de ar e com pré-orifício, no qual se baseia em produção de gotas com diâmetros maiores. Assim, as gotas não serão carregadas pelo vento tão facilmente, reduzindo o fenômeno da deriva (Chechetto et al., 2013; Godinho Junior et al., 2017; Maciel et al., 2017).

Portanto, faz-se importante conhecer o potencial de deriva entre os modelos de pontas de pulverização, com a finalidade de promover alternativas de sua redução. Assim, objetivou-se avaliar o potencial de deriva das pontas com tecnologia antideriva e convencional, com diferentes pressões de trabalho e velocidades do ar.

2. Material e métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, Minas Gerais.

Para o trabalho, foram selecionadas sete pontas, para avaliação das características operacionais, sendo uma ponta hidráulica convencional com gotas finas e geração de deriva para comparação (ConeJet TX-VS12) e seis com tecnologia antideriva (TeeJet TTJ60-11002, TeeJet TT-11002, TeeJet TTI-11002, Hypro 3D100-02, Hypro 3D100-03 e Hypro GA110-03). As pontas ConeJet TX-VS12, Hypro 3D100-02 e Hypro 3D100-03 são indicadas para herbicidas, fungicidas e inseticidas de contato, enquanto que as pontas TeeJet TTI-11002 e Hypro GA110-03 são indicadas para o uso sistêmico. Por sua vez, as pontas TeeJet TTJ60-11002 e TeeJet TT-11002 são recomendadas para o uso de contato e sistêmico em todos os casos. Na sequência, foram escolhidas três pressões de operações das pontas, com a finalidade de ter tamanhos de gotas diferentes, sendo estas: 300, 400 e 500 kPa. Foram realizadas três repetições para cada tratamento.

Foi adotado o critério de classificação de tamanho de gota da ASABE S572.1 (2018) para todo o experimento. Na Tabela 11, apresentam-se as características de cada ponta escolhida.

Tabela 11 - Características dos modelos das pontas de pulverização utilizadas no experimento, de acordo com seus fabricantes.

Marca e modelo	Material	Jato	Tecnologia	Pressão (kPa)	Gota
ConeJet TX-VS12	Aço inoxidável	Cone vazio	Convencional	300	F
				400	F
				500	VF
TeeJet TTJ60-11002	Polímero	Leque plano duplo	Antideriva - Ângulo entre cada jato de 60°	300	C
				400	M
				500	M
TeeJet TT-11002	Polímero	Leque plano simples	Antideriva - Resistência ao desgaste	300	M
				400	M
				500	F
TeeJet TTI-11002	Polímero	Leque plano simples	Antideriva - Com indução de ar e pré- orifício	300	UC
				400	UC
				500	XC

Hypro 3D100-02	Poliacetal	Leque plano	Antideriva -	300	F
		simples	Pulverização	400	F
		inclinado 35°	inclinada	500	F
Hypro 3D100-03	Poliacetal	Leque plano	Antideriva -	300	M
		simples	Pulverização	400	M
		inclinado 35°	inclinada	500	F
Hypro GA110-03	Poliacetal	Leque plano	Antideriva -	300	C
		simples	Inclinada com	400	C
		inclinado 15°	indução de ar	500	C

F: fina; VF: muito fina; C: grossa; M: média; UC: ultra grossa; XC: extremamente grossa.
Fonte: A autora.

Foi feita uma breve análise sobre o espectro de gotas de cada ponta de pulverização escolhida. Foi utilizado o analisador a laser de partículas da marca Malvern Instruments Ltda., modelo Spraytec, sendo determinado os seguintes parâmetros: amplitude relativa (SPAN), DMV (diâmetro da mediana volumétrica), percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm ($\%V < 100 \mu\text{m}$), entre 100 e 150 μm ($150 < \%V < 100 \mu\text{m}$) e superior a 500 μm ($\%V > 500 \mu\text{m}$).

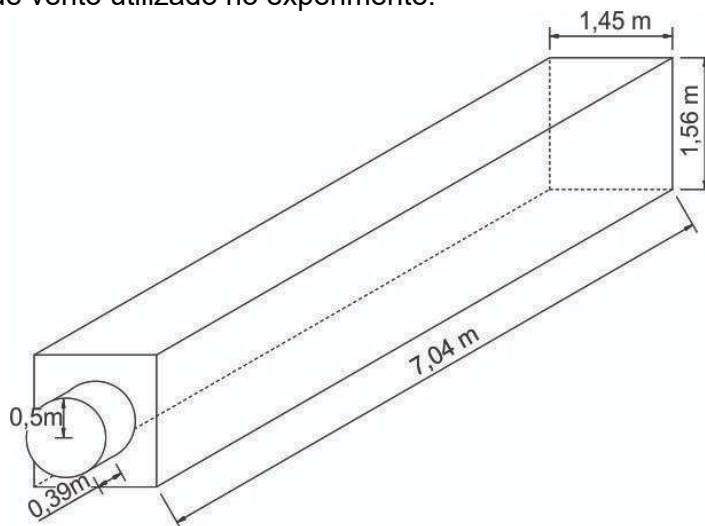
2.1. Determinação do potencial de deriva

Para o trabalho, foi utilizado túnel de vento de circuito aberto de sucção (Figura 13), com área útil de 15,92 m². A finalidade deste equipamento é de gerar e controlar o fluxo de ar dentro do ambiente. Para o presente estudo, foi utilizado para analisar a deriva de pontas hidráulicas em função da pressão de trabalho. É composto por um ventilador axial de 12 hélices, conectado por um sistema de duas polias em um motor de indução trifásico, com potência de 5,0 cv (3,68 kW), da marca Metalcorte. Neste motor, é ligado um inversor trifásico, da marca SIEMENS, na qual ajusta-se a frequência escolhida para que corresponda a velocidade de saída do ventilador. As frequências utilizadas no experimento foram de 20 e 35 Hz, correspondendo às velocidades de 1,67 e 2,78 m s⁻¹, respectivamente.

A barra de pulverização foi montada dentro do túnel, na qual também é composto de sistema para monitorar/controlar a pressão de pulverização. A barra foi ajustada para 50 cm, em relação ao piso do túnel, onde as pontas de pulverização selecionadas foram posicionadas. O sistema de pressurização do líquido também é composto por uma bomba de três cilindros, da marca WEG, reservatório de 125 L,

filtro do tipo tela, além de um manômetro, da marca Wika, para monitoramento e ajuste da pressão de funcionamento.

Figura 13 - Túnel de vento utilizado no experimento.



Fonte: A autora.

O experimento foi realizado com as condições climáticas monitoradas durante a execução de cada ponta de pulverização. Para o líquido aplicado, foi utilizada água destilada em temperatura ambiente, e para todos os tratamentos foi utilizado o corante (traçador) artificial para fins alimentícios Azul Brilhante FCF da marca Sensient Colors/USA na concentração de $0,6\% \text{ v v}^{-1}$, conforme metodologia descrita por Chechetto et al. (2013).

A pesagem do corante foi realizada em balança de precisão de 0,01 gramas da marca GEHAKA, modelo BG 2000. Utilizou-se 3 g L^{-1} do corante em água destilada, conforme metodologia proposta por Paladini (2000). O corante utilizado é altamente solúvel em água, além de apresentar baixa toxicidade. Trabalhos utilizando o mesmo corante foram realizados por Paladini (2000), Moreira Júnior (2009), Chechetto et al. (2013) e Oliveira (2021) apresentando bons resultados nos respectivos experimentos para medidas de deposição.

Cada aplicação foi efetuada durante um minuto, determinado por meio de um cronômetro digital e o controle da pulverização foi efetuada de forma manual, por meio de boteira convencional. Após o desligamento do ventilador foram aguardados 30 segundos, tempo estimado para total estabilização do ambiente dentro da seção de testes e fixação das gotas depositadas nos coletores.

Os coletores utilizados foram fios de polietileno com diâmetro de 2 mm e comprimento de 1,40 m, dispostos no túnel conforme Figura 14 e metodologia proposta por Crause et al. (2019). Foram definidas quatro distâncias em relação a ponta de pulverização, sendo elas: 1,1, 2,2, 3,3 e 4,4 m. Em cada distância determinada, foram adotadas cinco alturas para a disposição dos fios de polietileno, sendo elas: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m. Esses foram retirados do túnel de acordo com a distribuição na seção de testes com o auxílio de duas pessoas, sendo uma para a retirada dos fios coletores do interior do túnel e uma para acondicionar os fios em sacos plásticos transparentes devidamente identificados.

Figura 14 - Disposição dos fios de polietileno dentro do túnel de vento.



Fonte: A autora.

Para a etapa de lavagem dos fios coletados, foram adicionados 50 mL de água destilada dentro dos sacos plásticos, que acondicionavam os fios. Foram agitados manualmente até total remoção do corante presente nas amostras. A medida de água adicionada para a lavagem das amostras foi realizada por meio de uma proveta com precisão de 0,1 mL. Os líquidos armazenados foram analisados em um

espectrofotômetro modelo SP-22, da marca Biospectro, atendendo faixa de 352 à 1000 nm de comprimento de onda. Os resultados foram lidos sob a absorvância para o corante Azul Brilhante, ou seja, analisados em 630 nm de comprimento de onda.

A leitura foi transformada em $\mu\text{L cm}^{-2}$ por meio de confecção de curvas-padrão a partir de concentrações conhecidas, coletadas dos líquidos que compuseram os tratamentos, e também pelo diâmetro e comprimento conhecidos dos fios. Os depósitos de deriva referente a cada posição de coleta no túnel de vento foram avaliados individualmente, possibilitando representar a distribuição dos tratamentos analisados em toda a seção de testes, conforme Chechetto et al. (2013).

2.2 Análise estatística

Os dados experimentais foram submetidos a análise de regressão. Para o fator pressão, utilizou-se regressão, e os modelos foram baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se 1% de probabilidade, no coeficiente de determinação (R^2) e no comportamento do fenômeno em estudo. Para a realização dos procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional TableCurve.

Para cada ponta de pulverização foi avaliado um modelo para adequar aos valores obtidos pelo túnel de vento. Os modelos estimados servem para os intervalos entre os dados coletados, ou seja, a distância horizontal variando de 1,1 à 4,4 m e a vertical de 0,1 à 0,5 m (foi feita uma extrapolação para altura 0,0 m em função da resolução de coleta ter sido maior). Os valores estimados ajustados foram deixados na escala em que melhor se adequa para cada tipo de ponta hidráulica, com a finalidade de facilitar o entendimento do que a velocidade do vento e a pressão de trabalho é capaz de fazer para cada uma. Entretanto, para o entendimento a nível de comparação entre as pontas de pulverização, foi feito um gráfico com os pontos médios de distância (2,75 m) e altura (0,25 m), chamados de ponto de controle, em todas as pressões e condições de vento analisadas, para todas as pontas em questão.

3. Resultados e discussão

A estimativa do potencial de deriva de cada ponta de pulverização selecionada deve ser relacionada aos espectro de gotas. A Tabela 12 apresenta o espectro de gotas das pontas testadas.

Tabela 12 - Espectro de gotas das pontas hidráulicas utilizadas no experimento.

Ponta hidráulica	Pressão (kPa)	SPAN (adm)	DMV (μm)	%V<100 μm	150<%V<100 μm	%V>500 μm
ConeJet TX-VS12	300	1,1924	135,58	24,79	34,21	0,91
	400	1,0972	125,88	29,00	37,34	0,85
	500	1,1508	113,00	39,00	35,45	0,54
TeeJet TTJ60-11002	300	1,6174	216,94	10,34	18,79	7,02
	400	1,5346	162,08	16,96	27,09	1,94
	500	1,5606	156,56	19,21	27,77	2,34
TeeJet TT-11002	300	1,9062	204,68	12,43	19,51	9,00
	400	1,8864	180,22	16,35	22,25	6,14
	500	1,9126	162,72	21,04	23,92	4,61
TeeJet TTI-11002	300	1,9530	625,84	1,30	3,72	59,00
	400	1,9852	552,90	1,44	4,12	54,48
	500	1,9430	517,72	2,68	4,72	51,79
Hypro 3D100-02	300	1,6144	172,78	20,22	21,27	1,65
	400	1,6834	162,88	23,61	21,58	1,35
	500	1,8060	158,96	26,76	20,15	1,55
Hypro 3D100-03	300	1,7114	221,72	14,93	15,17	7,36
	400	1,7674	210,60	17,79	15,36	6,38
	500	1,8110	202,14	20,17	15,42	5,56
Hypro GA110-03	300	1,6574	346,34	5,10	5,10	26,83
	400	1,5870	292,34	5,33	11,47	17,22
	500	1,6394	266,32	7,33	13,56	13,79

SPAN: amplitude relativa, adimensional; DMV: diâmetro da mediana volumétrica, μm ; %V<100 μm : Percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm ; 150<%V<100 μm : Percentual de volume de gotas com diâmetro entre 100 e 150 μm ; %V>500 μm : Percentual de volume de gotas com diâmetro superior a 500 μm .

Fonte: A autora.

3.1. Determinação do potencial de deriva

Na Tabela 13, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ConeJet TX-VS12. A deriva apresenta-se com comportamento inverso à distância horizontal, ou seja, quanto maior a distância horizontal em relação a ponta de pulverização no momento da aplicação, menor é a deriva observada, para todas as pressões e

velocidades analisadas. Por sua vez, a deriva reduz conforme a distância vertical aumenta, para todos os casos desta ponta.

Tabela 13 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta ConeJet TX-VS12 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s ⁻¹)	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z = 4,3023 + 35,0350^{**}/x - 38,2190^{**}y$	0,82	0,00
	400	$z = 7,6204 + 34,8690^{**}/x - 43,1655^{**}y$	0,81	0,00
	500	$z = 8,8734 + 35,5304^{**}/x - 45,4695^{**}y$	0,74	0,00
2,78	300	$z = 12,4780 + 36,5083^{**}/x - 17,1168^{**}y$	0,82	0,00
	400	$z = 16,0250 + 41,0325^{**}/x - 22,9630^{**}y$	0,78	0,00
	500	$z = 18,1111 + 50,0074^{**}/x - 27,5510^{**}y$	0,83	0,00

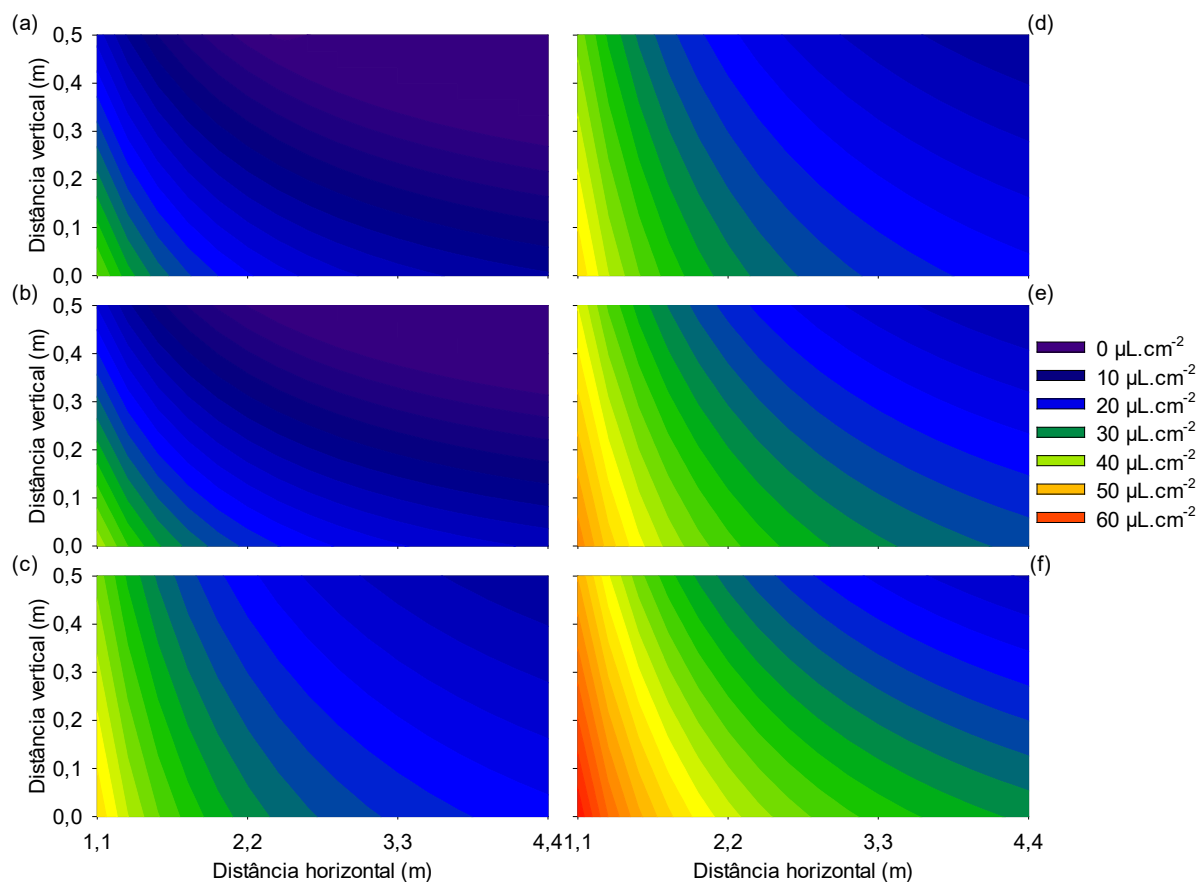
** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, µL.cm⁻²; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

Fonte: A autora.

Com o aumento das pressões de trabalho, para as duas velocidades escolhidas, há o aumento de deriva (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Observa-se na Tabela 12 que o DMV da ponta ConeJet TX-VS12, reduz de 135,58 para 113,00 µm, de acordo com o aumento de pressão de 300 para 500 kPa, respectivamente. Isto acontece, pois, quanto maior a pressão de operação, maior é o fracionamento de gotas no interior da ponta de pulverização. Assim, o tamanho de gotas diminui, ficando mais susceptível ao carregamento pelo ar, obtendo maior potencial de deriva para essas condições (Maciel et al., 2017; Massola et al., 2018; Ahmad et al., 2020).

A ponta ConeJet TX-VS12 apresenta os maiores valores de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm, conforme visto na Tabela 12, independentemente da pressão de trabalho analisada. Analisando o volume de gotas com diâmetro entre 100 e 150 µm, também se verificam os maiores valores para esta ponta de pulverização, independentemente da pressão (Tabela 12). Sabe-se que a deriva ocorre, principalmente, em tamanhos de gotas inferiores a 100 µm, sendo um indicativo dos grandes valores de deriva para essa ponta. Ressalta-se que esta ponta apresenta gotas finas e muito finas, conforme a pressão utilizada (Tabela 11). Como é uma ponta convencional, não tem tamanho de gotas maiores para não sofrer tanta deriva, como as pontas com tecnologia antideriva.

Figura 15 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta ConeJet TX-VS12 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Fonte: A autora.

O maior valor de deriva se deu sob a condição de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e a 500 kPa de pressão, obtendo $63,57 \mu\text{L cm}^{-2}$, na distância horizontal de 1,1 m e na vertical correspondente ao solo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Isso se explica pela condição do vento não ser favorável a aplicação de defensivos, o que conseqüentemente, aumenta a deriva (Moreira Junior, 2009). Observando a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, o maior valor foi de $41,17 \mu\text{L cm}^{-2}$, representado nas mesmas condições anteriores para pressão, distância horizontal e vertical (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Assim, verifica-se a importância de a velocidade do vento ser entre 1,11 a $1,67 \text{ m s}^{-1}$, pois na de $2,78 \text{ km h}^{-1}$ teve aumento de 54,41% no valor de deriva, comparando essas mesmas condições anteriores de pressão, distância horizontal e vertical.

Na Tabela 14, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta TeeJet TTJ60-11002. Nota-se que a deriva reduz conforme a distância vertical aumenta seu valor. A distância horizontal também, ou seja, a deriva reduz conforme a distância horizontal aumenta. Dentro da velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, o maior valor acompanhando a distância horizontal é para a pressão de 500 kPa, sendo de 31,7931, o que significa que o maior valor de deriva associado a esta distância se encontra nessa pressão.

Tabela 14 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TTJ60-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s^{-1})	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z = 1,8088 + 14,9099^{**}/x - 13,4723^{**}y$	0,81	0,00
	400	$z = 4,4627 + 19,5966^{**}/x - 19,6215^{**}y$	0,61	0,00
	500	$z = 2,7542 + 31,7931^{**}/x - 32,0490^{**}y$	0,84	0,00
2,78	300	$z = 0,2137 + 35,3556^{**}/x - 16,3583^{**}y$	0,95	0,00
	400	$z = -1,9187 + 46,8743^{**}/x - 16,5058^{**}y$	0,96	0,00
	500	$z = 1,7942 + 45,6325^{**}/x - 12,4763^{**}y$	0,90	0,00

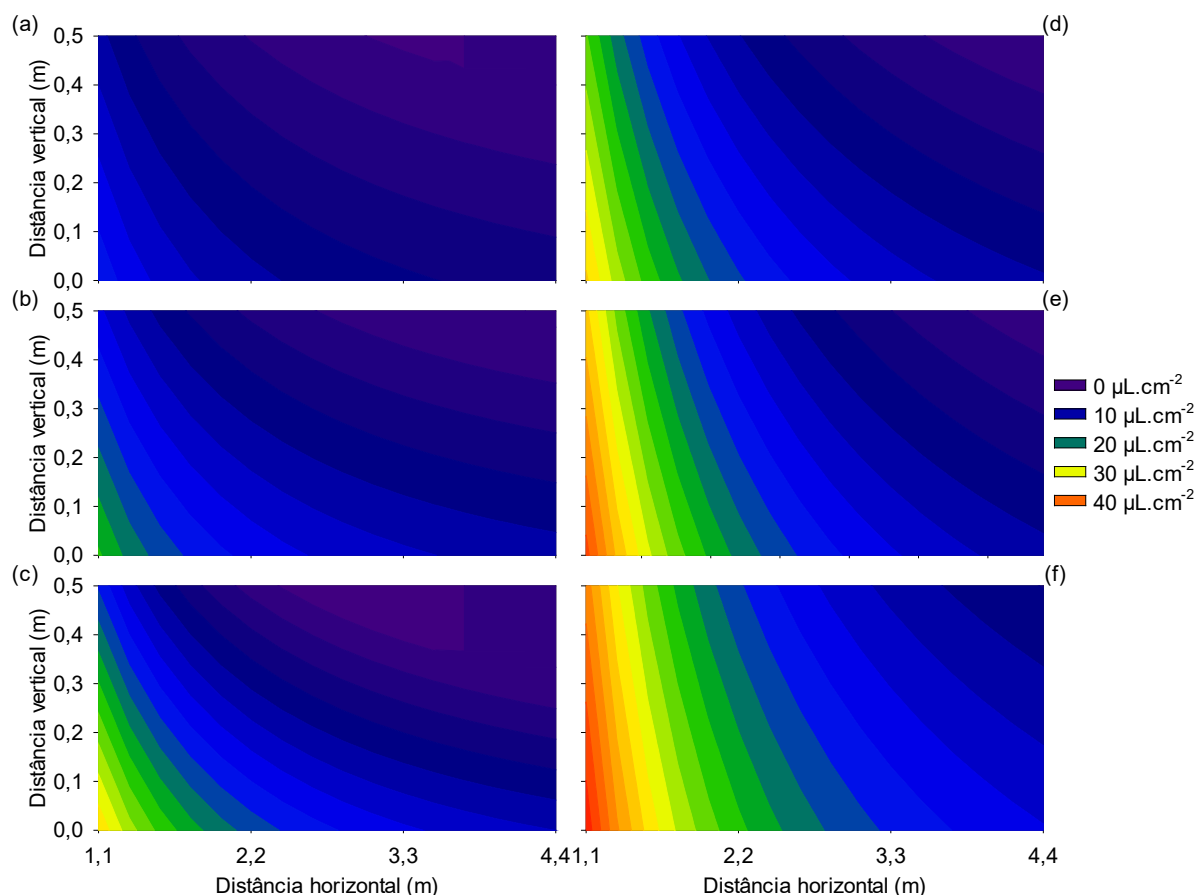
** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, $\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

Fonte: A autora.

Como aconteceu na ConeJet TX-VS12, na ponta TeeJet TTJ60-11002 também se observa que com o aumento das pressões, para as duas velocidades, houve aumento de deriva (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). No entanto, os valores encontrados são menores, por se tratar de uma ponta hidráulica com tecnologia antideriva. Essa ponta produz gotas de tamanho maior, a fim de minimizar este fenômeno. Conforme mostrado na Tabela 12, o DMV variou de 216,94 à 156,56 μm , seguindo o aumento da pressão de trabalho de 300 à 500 kPa, respectivamente.

O maior valor de deriva observado se deu em 500 kPa, na velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, sendo de $43,28 \mu\text{L cm}^{-2}$, na distância horizontal de 1,1 m e vertical na altura do solo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Em comparação com as mesmas condições de pressão e distâncias, porém na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, a deriva obteve valor de $31,66 \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Sendo este, o maior valor observado para essa velocidade. Assim, nota-se um aumento de 36,70% na deriva em condições inadequadas de vento na aplicação.

Figura 16 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TTJ60-11002 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Fonte: A autora.

Para a pressão de 300 kPa, velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, distância de 1,1 m, tem-se que a deriva foi de 15,36, 14,02, 12,67, 11,32, 9,97 e 8,63 $\mu\text{L cm}^{-2}$, para as distâncias verticais de 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Nas mesmas condições, alterando apenas a velocidade para $2,78 \text{ m s}^{-1}$, a deriva observada foi de 32,36, 30,72, 29,08, 27,45, 25,81 e 24,18 $\mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Com isso, nota-se que conforme a altura em relação ao solo diminui, independentemente da velocidade de operação, a deriva aumenta. O aumento em termos percentuais foi

de 110,67, 119,11, 129,52, 142,49, 158,88 e 180,19%, para as distâncias verticais de 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, e 0,5 m, respectivamente.

A TeeJet TTJ60-11002 possui maior percentual de volume de gotas na faixa de diâmetro entre 100 e 150 μm , conforme Tabela 12, diferentemente da ConeJet TX-VS12. Isso explica os valores de deriva da TeeJet TTJ60-11002 serem menores, corroborando com a tecnologia antideriva da ponta, na qual aumenta o tamanho de gota com este objetivo. Ressalta-se que esta ponta, além de apresentar esta tecnologia, apresenta leque duplo, com defasagem de 60° entre cada jato.

Na Tabela 15, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta TeeJet TT-11002. Esta ponta apresenta a mesma tecnologia que a TeeJet TTJ-11002, entretanto, apresenta leque simples. A deriva se apresenta inversamente proporcional a distância horizontal, sendo assim, a cada metro mais distante da aplicação, menor será o valor de deriva. Por sua vez, a deriva também reduz conforme há o aumento da distância vertical dentro do túnel.

Analisando o coeficiente que acompanha a distância horizontal, conforme Tabela 15, o maior valor observado é dado na velocidade de operação de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ e pressão de trabalho de 500 kPa. Com isso, o maior valor de deriva nesta distância se dará sob essas condições.

Tabela 15 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TT-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s^{-1})	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z = -1,2945 + 14,2219^{**}/x - 8,6238^{**}y$	0,86	0,00
	400	$z = -0,4025 + 22,2359^{**}/x - 16,4770^{**}y$	0,86	0,00
	500	$z = 1,0555 + 32,6465^{**}/x - 28,7103^{**}y$	0,82	0,00
2,78	300	$z = -1,3789 + 28,6829^{**}/x - 14,1640^{**}y$	0,95	0,00
	400	$z = -0,0050 + 41,7828^{**}/x - 19,7730^{**}y$	0,95	0,00
	500	$z = 0,5795 + 53,9264^{**}/x - 25,9408^{**}y$	0,95	0,00

** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, $\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

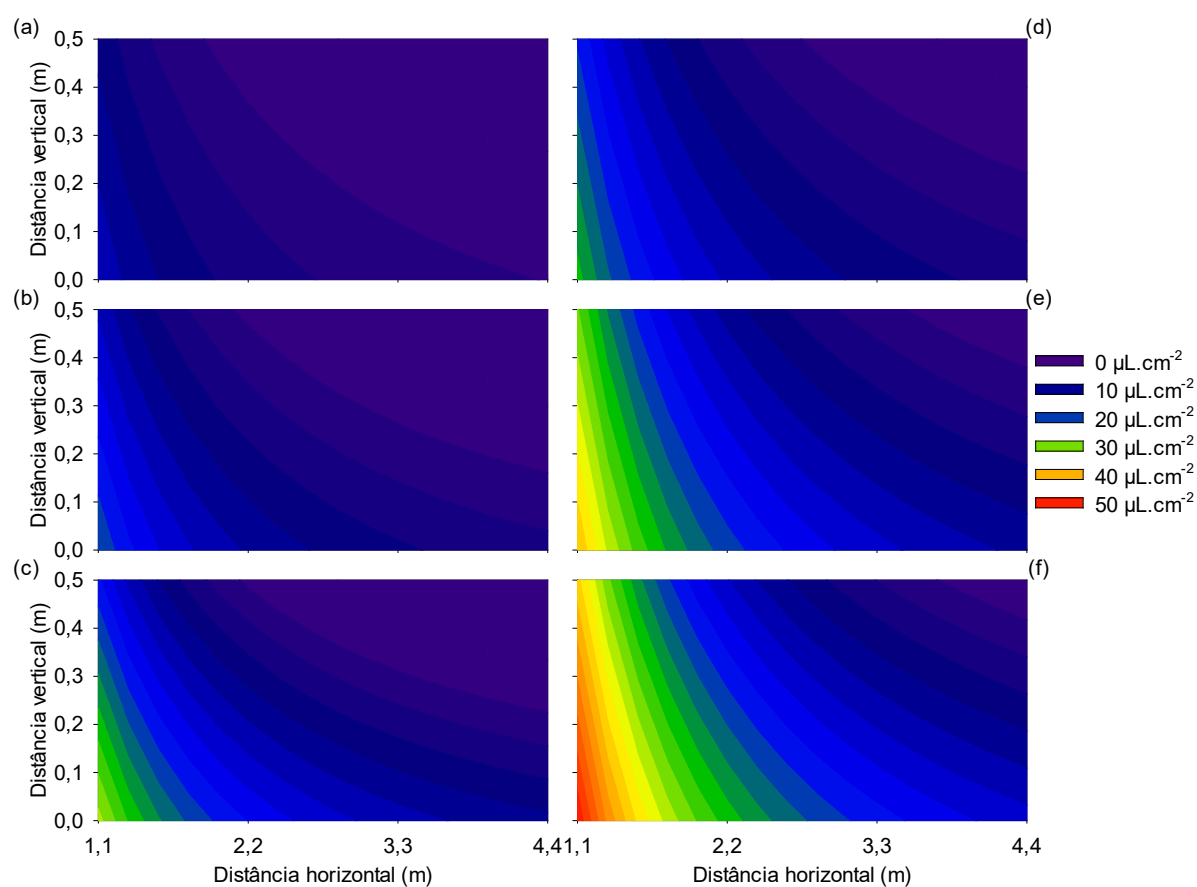
Fonte: A autora.

O maior valor de deriva apresentado pela ponta TeeJet TT-11002 na pressão de 300 kPa e velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$ foi dado na distância de 1,1 m e vertical de 0,0 m, sendo de $11,63 \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na mesma distância vertical, pressão e velocidade, obteve-se os valores de 5,17, 3,02, e $1,94 \mu\text{L cm}^{-2}$, para as horizontais de 2,2, 3,3 e 4,4 m, respectivamente (**Erro! Fonte de**

referência não encontrada.). Assim, houve redução da deriva de 55,55, 74,03 e 83,31%, conforme a distância horizontal aumentou, respectivamente.

Para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, na pressão de 300 kPa, distância vertical de 0,1 m, tem-se que a deriva foi de 23,28, 10,24, 5,90 e $3,72 \mu\text{L cm}^{-2}$, para as horizontais de 1,1, 2,2, 3,3, e 4,4 m, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na distância vertical de 0,5 m, os valores foram de 17,61, 4,58, 0,23 e $0,0 \mu\text{L cm}^{-2}$ nas mesmas distâncias horizontais, velocidade e pressão de trabalho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Isso mostra que conforme a altura em relação ao solo aumenta, o potencial de deriva diminui, conforme relatado nas pontas anteriores.

Figura 17 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TT-11002 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Fonte: A autora.

O maior valor de deriva encontrado para a TeeJet TT-11002 também se deu na velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, pressão de 500 kPa, distância horizontal de 1,1 m e vertical na altura do solo, sendo de $49,60 \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Em contraponto com a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, nas mesmas condições, a deriva observada foi de $30,72 \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), o que mostra uma redução de 38,06% na deriva apenas pela velocidade do vento ser a adequada para a aplicação.

Na Tabela 16, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta TeeJet TTI-11002. Esta ponta de pulverização se mostrou eficiente sobre o potencial de deriva, não apresentando a mesma após a distância de 1,1 m analisada no presente estudo, para todas as pressões de trabalho e velocidades de operação. Assim, os modelos estimados foram feitos apenas para a distância de 1,1 m, em todas as distâncias verticais, pressões e velocidades, diferentemente das demais pontas de pulverização analisadas.

Tabela 16 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta TeeJet TTI-11002 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s^{-1})	Pressão (kPa)	DH (m)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	1,1	$z = 6,5117 + 31,7040^{**}y^2 - 19,0540^{**}y$	0,90	0,00
	400		$z = 6,0365 - 25,5830^{**}y^2 + 1,0131^{**}y$	0,99	0,00
	500		$z = 14,4960 + 7,6237^{**}y^2 - 26,7420^{**}y$	0,99	0,00
2,78	300		$z = 13,4160 - 16,8720^{**}y$	0,99	0,00
	400		$z = 18,1740 - 24,3020^{**}y$	0,99	0,00
	500		$z = 26,7000 - 34,0310^{**}y$	0,98	0,00

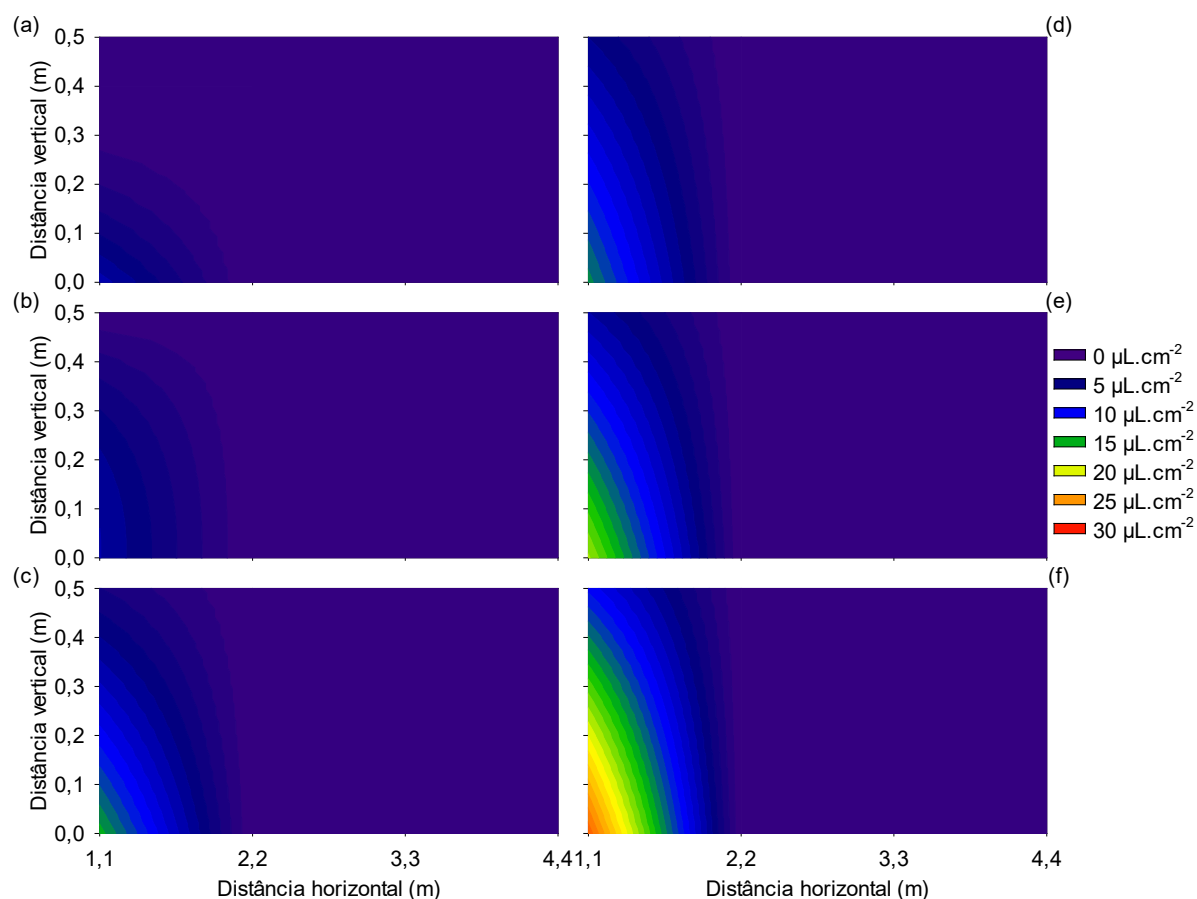
** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, $\mu\text{L.cm}^{-2}$; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

Fonte: A autora.

A ponta TeeJet TTI-11002 apresenta pré-orifício e indução de ar, sendo estas, tecnologias antideriva, para aumentar o tamanho das gotas com a sua utilização. Na Tabela 12, nota-se que o DMV é de 625,84, 552,90 e 517,72 μm , respectivamente, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa. São os maiores valores de DMV obtidos neste experimento, e isso pode ser visto pelo percentual de volume de gotas com diâmetro superior a 500 μm , sendo de 59,00, 54,48 e 51,79% para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 12). Segundo a ASABE S572.1, as gotas desta ponta de pulverização são classificadas como extremamente grossas, o que justifica a ponta não apresentar deriva em maiores distâncias da aplicação.

Conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, fixando a distância horizontal em $1,1 \text{ m}$, e vertical de $0,3 \text{ m}$, os valores de deriva foram de $0,65$, $4,04$ e $7,16 \text{ } \mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente, para 300 , 400 e 500 kPa . Em contrapartida, para as mesmas condições, passando para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, os valores foram de $8,35$, $10,88$ e $16,49 \text{ } \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), apresentando aumento percentual de $1184,62$, $169,31$ e $130,31\%$, respectivamente.

Figura 18 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta TeeJet TTI-11002 para deposição dos coletores em função da posição ($1,1$; $2,2$; $3,3$; $4,4 \text{ m}$), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300 , 400 e 500 kPa , respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Fonte: A autora.

Para a pressão de 500 kPa , na distância horizontal de $1,1 \text{ m}$ e velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, a deriva observada foi de $14,50$, $11,90$, $9,45$, $7,16$, $5,02$ e $3,03 \text{ } \mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente, para as distâncias verticais de $0,0$, $0,1$, $0,2$, $0,3$, $0,4$ e $0,5 \text{ m}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Com as mesmas condições, alterando

apenas a velocidade para 2,78 m s⁻¹, os valores de deriva foram de 26,70, 23,30, 19,89, 16,49, 13,09 e 9,68 µL cm⁻² (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), representando aumento de 84,14, 95,80, 110,48, 130,31, 160,76 e 84,14%, respectivamente.

O maior valor de deriva obtido na pressão de 300 kPa e velocidade de 1,67 m s⁻¹ foi na altura correspondente ao solo, sendo de 6,51 µL cm⁻² (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já na velocidade de 2,78 m s⁻¹, a deriva foi de 13,42 µL cm⁻², para a mesma pressão e altura (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), correspondendo a um aumento de 106,14% apenas pelo aumento da velocidade de operação na aplicação. Isto confirma que 2,78 m s⁻¹ não é uma velocidade adequada para se realizar a pulverização.

Na Tabela 17, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta Hypro 3D100-02. Esta ponta, além de tecnologia antideriva, apresenta sua pulverização inclinada em 35°. Assim como as pontas avaliadas anteriormente, a deriva se apresenta inversamente proporcional ao aumento da distância horizontal e vertical. Analisando o coeficiente que acompanha a distância vertical, conforme Tabela 17, o maior valor observado é dado na velocidade de operação de 2,78 m s⁻¹ e pressão de trabalho de 500 kPa. Com isso, o maior valor de deriva nesta distância se dará sob essas condições.

Tabela 17 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro 3D100-02 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s ⁻¹)	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z = 2,2311^{**} + 17,8874^{**}/x - 22,6318^{**}y$	0,67	0,00
	400	$z = 2,8731^{**} + 22,9911^{**}/x - 28,3048^{**}y$	0,71	0,00
	500	$z = 3,6588^{**} + 24,1471^{**}/x - 30,0665^{**}y$	0,68	0,00
2,78	300	$z = 2,4986^{**} + 48,4105^{**}/x - 27,4850^{**}y$	0,94	0,00
	400	$z = 4,3737^{**} + 56,4275^{**}/x - 35,0210^{**}y$	0,94	0,00
	500	$z = 8,0363^{**} + 54,3147^{**}/x - 34,5890^{**}y$	0,93	0,00

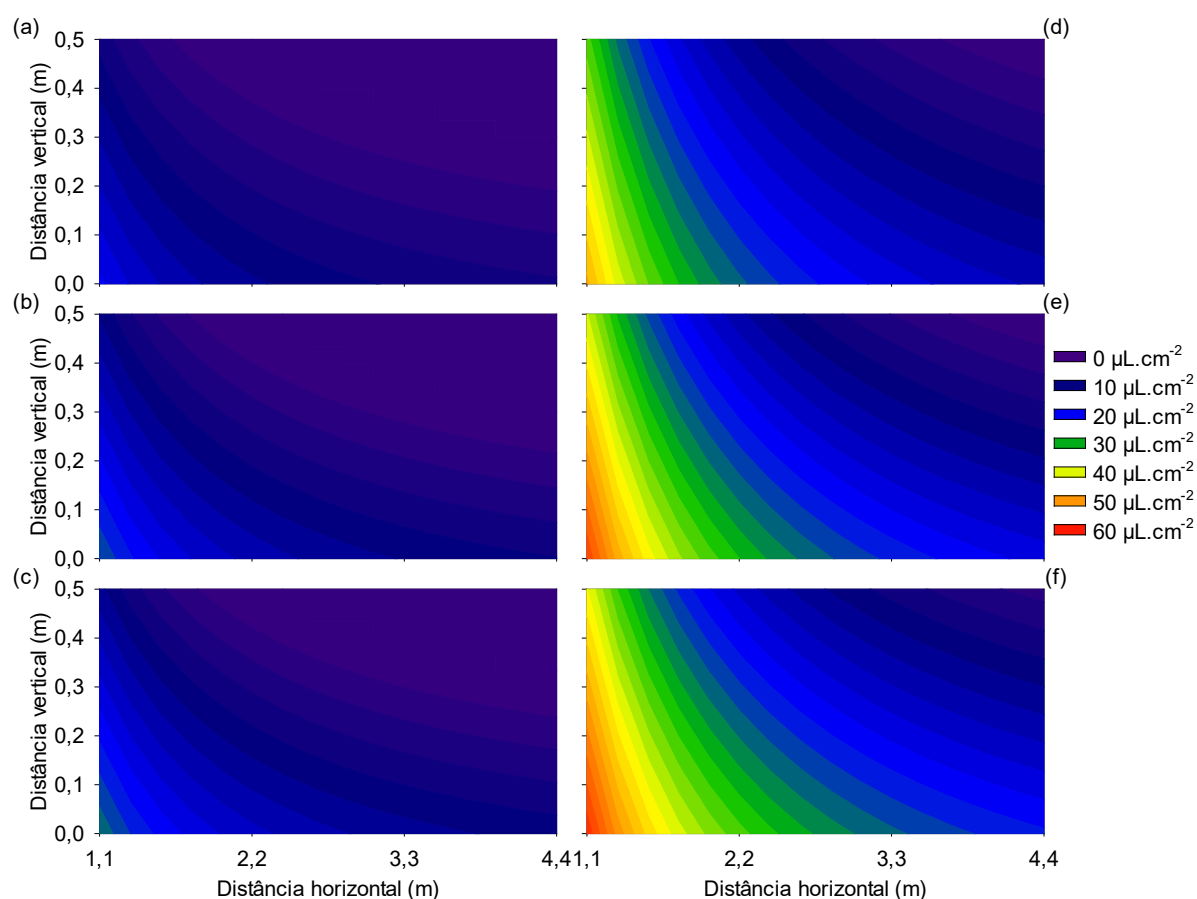
** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, µL.cm⁻²; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

Fonte: A autora.

A Hypro 3D100-02 apresentou valores de deriva de 18,49, 23,77 e 25,61 µL cm⁻², na velocidade de 1,67 m s⁻¹, distância horizontal de 1,1 m e altura correspondente ao solo, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Com isso, percebe-se que a pressão

influencia na deriva, pois quanto maior é a pressão, maior é o fracionamento do líquido em gotas, deixando-as mais susceptíveis à deriva. Em contraponto, na velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, os valores foram de 46,51, 55,67 e $57,41 \mu\text{L cm}^{-2}$, para as mesmas condições, sendo este último, o maior valor de deriva apresentado pela ponta neste trabalho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Assim, nota-se aumento de 151,54, 134,20 e 124,17%, respectivamente, demonstrando que a velocidade de aplicação influenciou nesta ponta também, ou seja, a deriva foi maior na velocidade maior.

Figura 19 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro 3D100-02 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Fonte: A autora.

Os valores de DMV para a Hypro 3D100-02 foram de 172,78, 162,88 e 158,96 μm , respectivamente, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, conforme Tabela 12.

Segundo a classificação de tamanho de gotas da ASABE, a S572.1, estes tamanhos são de gotas finas. Maciel et al. (2018) afirmaram que gotas muito finas e finas são muito susceptíveis a deriva, e que com o aumento da pressão, o tamanho de gota tende a reduzir. Na Tabela 12, nota-se que o percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm e também com diâmetros entre 100 e 150 µm é expressivo, justificando assim, os altos valores de deriva para esta ponta.

Para a velocidade de 2,78 m s⁻¹ e pressão de 500 kPa, tem-se que a deriva foi de 32,72, 29,27, 25,81, 22,35, 18,89 e 15,43 µL cm⁻², na distância horizontal de 2,2 m e nas verticais de 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Assim, sabe-se que a deriva diminuiu conforme a altura aumentou em 10,54, 11,82, 13,40, 15,48 e 18,31%, respectivamente. Na distância horizontal de 3,3 m, os valores foram de 24,50, 21,04, 17,58, 14,12, 10,66 e 7,20 µL cm⁻², respectivamente, para as mesmas condições anteriores de alturas, pressão e velocidade (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Com isso, nota-se que a distância horizontal também influenciou na deriva. Com o aumento da distância horizontal em relação a ponta de pulverização houve redução da deriva, sendo, em termos percentuais, de 25,12, 28,12, 31,89, 36,82, 43,57 e 53,34%, respectivamente, para as condições mencionadas anteriormente.

Na Tabela 18, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta Hypro 3D100-03. Assim como a Hypro 3D100-02, esta ponta também é antideriva com pulverização inclinada em 35°. Sua diferença é a vazão nominal, o que acarreta diferença no tamanho de gotas conforme a pressão de trabalho. Observa-se que a deriva diminui conforme a distância horizontal e vertical aumenta.

Tabela 18 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro 3D100-03 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s ⁻¹)	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z^{-1} = -0,0128 + 0,0460^{**}x^2 + 2,3713^{**}y^{2,5}$	0,94	0,00
	400	$z^{-1} = -0,0184 + 0,0406^{**}x^2 + 2,7218^{**}y^{2,5}$	0,96	0,00
	500	$z^{-1} = -0,0160 + 0,0338^{**}x^2 + 2,1113^{**}y^{2,5}$	0,97	0,00
2,78	300	$z^{-1} = 0,0173 + 0,0057^{**}x^2 + 0,1197^{**}y^{2,5}$	0,98	0,00
	400	$z^{-1} = 0,0157 + 0,0043^{**}x^2 + 0,0940^{**}y^{2,5}$	0,97	0,00
	500	$z^{-1} = 0,0118 + 0,0054^{**}x^2 + 0,1479^{**}y^{2,5}$	0,98	0,00

** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, µL.cm⁻²; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

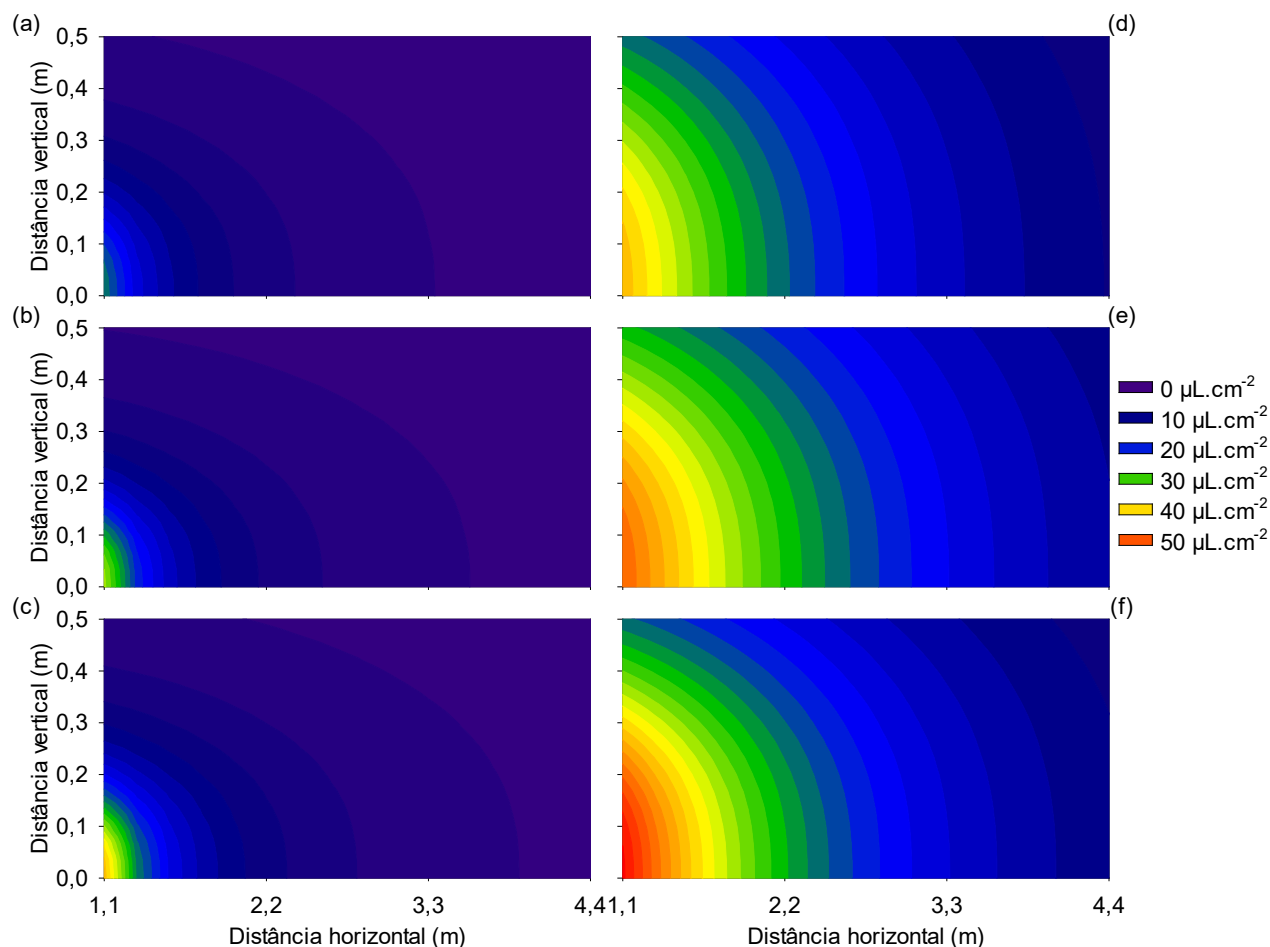
Fonte: A autora.

Conforme Tabela 12, para a Hypro 3D100-03, o DMV apresentado para as pressões de 300, 400 e 500 kPa é maior em relação ao da vazão nominal de 0,2 gal min⁻¹ (0,757 L min⁻¹), sendo de 221,72, 210,60 e 202,14 µm, respectivamente. O percentual de volume de gotas com diâmetro superior a 500 µm, que são menos susceptíveis à deriva, foi de 7,36, 6,38 e 5,56%, para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (Tabela 12). Em comparação com a Hypro 3D100-02, esses valores foram de 1,65, 1,35 e 1,55%, para as mesmas condições, respectivamente (Tabela 12). Assim, percebe-se que a ponta Hypro 3D100-03 se apresenta menos susceptível à deriva do que a Hypro 3D100-02.

O maior valor de deriva observado foi de 54,46 µL cm⁻², sendo na velocidade de 2,78 m s⁻¹, pressão de 500 kPa, distância horizontal de 1,1 m e vertical de 0,0 m (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Para 300 e 400 kPa, os valores foram de 41,41 e 47,93 µL cm⁻², respectivamente, para as mesmas condições anteriores (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Nota-se aumento da deriva conforme o aumento da pressão de trabalho, sendo este aumento de 15,74 e 13,62% de 300 para 400 kPa, e de 400 para 500 kPa, respectivamente.

Figura 20 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro 3D100-03 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de

1,67 m s⁻¹, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de 2,78 m s⁻¹.



Fonte: A autora.

Na velocidade de 1,67 m s⁻¹, o maior valor de deriva se deu na pressão de 500 kPa, distância horizontal de 1,1 m e altura correspondente ao solo, sendo de 41,04 μL cm⁻² (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já nas pressões anteriores, 300 e 400 kPa, a deriva foi de 23,29 e 32,60 μL cm⁻², respectivamente, nas mesmas condições anteriores (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Assim, nota-se influência da pressão de trabalho na aplicação também.

Para a distância vertical de 0,3 m, horizontal de 2,2 m, velocidade de 1,67 m s⁻¹, os valores de deriva foram de 3,06, 3,20 e 3,98 μL cm⁻², nas pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já na velocidade de 2,78 m s⁻¹, os valores estimados foram de 19,96, 24,41 e 22,08 μL cm⁻², respectivamente, nas mesmas condições anteriores (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Logo, há um aumento de 552,29, 662,81 e 454,77% na deriva com o aumento da velocidade.

Por fim, na Tabela 19, apresentam-se os modelos ajustados de deriva para a ponta Hypro GA110-03. Esta ponta apresenta a mesma tecnologia da Hypro 3D110-03, entretanto, sua inclinação passou por um ajuste, sendo de 15° na pulverização. Além disso, apresenta indução de ar. Nota-se que conforme a distância horizontal está no denominador da fração, a relação dessa variável é inversamente proporcional ao índice de deriva. Ou seja, a deriva será maior conforme a distância horizontal dada até a ponta de pulverização for menor. A deriva também aumenta conforme a distância vertical dentro do túnel diminui.

Tabela 19 - Modelos ajustados para descrever o comportamento espacial da deriva da ponta Hypro GA110-03 em função das pressões e das velocidades escolhidas.

Velocidade (m s ⁻¹)	Pressão (kPa)	Modelo estimado	R ²	p > F
1,67	300	$z = 0,1034 + 8,2165^{**}/x - 8,4225^{**}y$	0,65	0,00
	400	$z = 0,7528 + 11,8266^{**}/x - 13,9473^{**}y$	0,60	0,00
	500	$z = 1,8970 + 15,4304^{**}/x - 20,2935^{**}y$	0,62	0,00
2,78	300	$z = -0,9749 + 30,2269^{**}/x - 15,2628^{**}y$	0,94	0,00
	400	$z = 0,5835 + 40,9816^{**}/x - 21,4225^{**}y$	0,94	0,00
	500	$z = 3,0694 + 44,0926^{**}/x - 28,0295^{**}y$	0,93	0,00

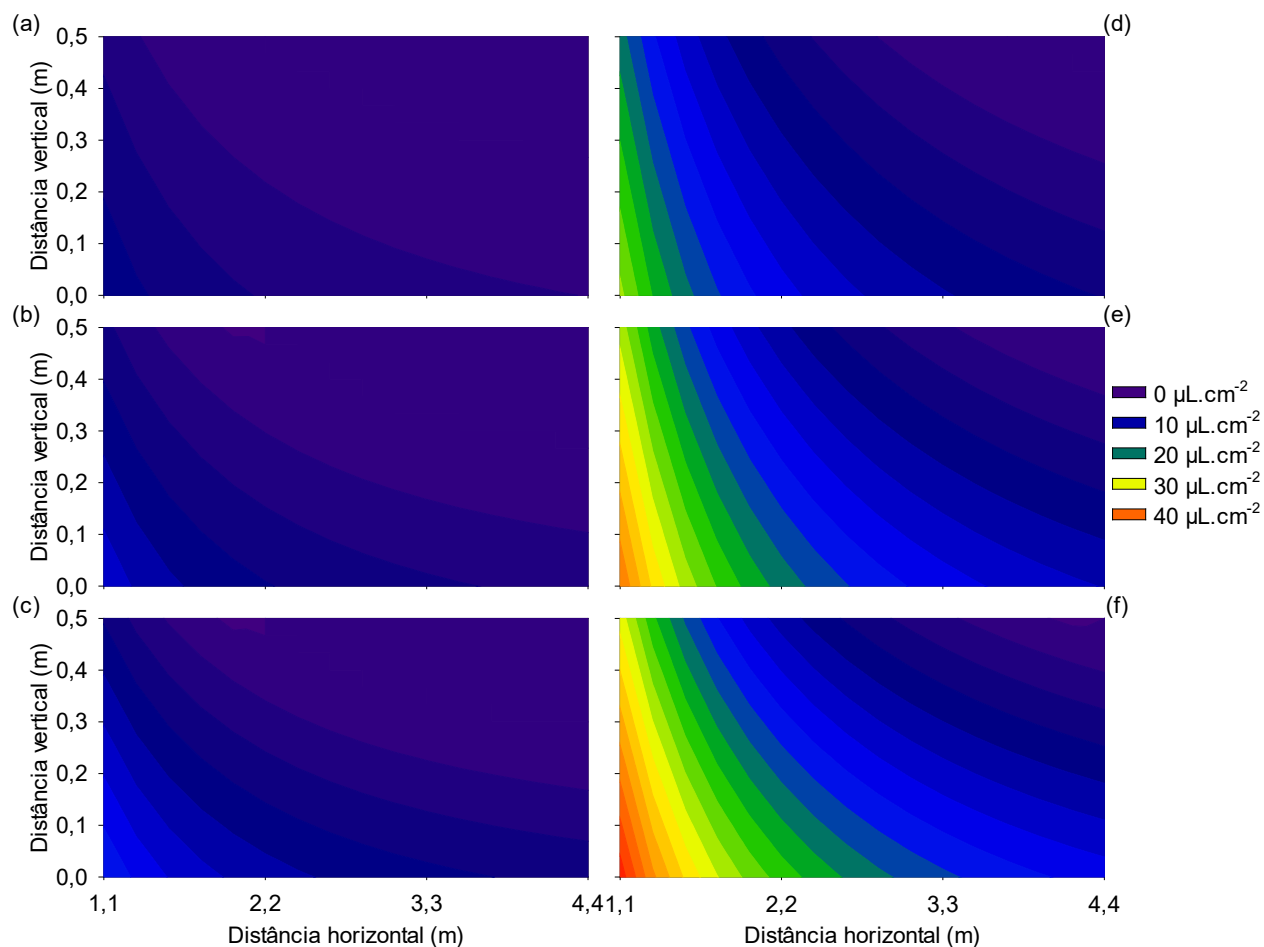
** t significativo a 1% de probabilidade; R²: coeficiente de determinação; z: deriva, µL.cm⁻²; x: distância horizontal, m; y: distância vertical, m; p: p-valor.

Fonte: A autora.

A Hypro GA110-03 apresentou valores elevados de DMV, sendo de 346,34, 292,34 e 266,32 µm, respectivamente, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa (Tabela 12). Segundo a ASABE S572.1, esses DMVs se encontram na classe de tamanho de gotas grossas (para o primeiro valor) e médias (para os últimos dois valores). Esta ponta de pulverização, além de apresentar tecnologia antideriva, também tem indução de ar, fazendo com que suas gotas obtenham diâmetros maiores em suas formações. Isto pode ser notado pelo percentual de volume de gotas com diâmetro superior a 500 µm, conforme Tabela 12, sendo de 26,83, 17,22 e 13,79%, para 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. Sendo assim, das pontas avaliadas neste trabalho, foi a segunda com os maiores valores dessa faixa de volume, perdendo apenas para a TeeJet TTI-11002. Esta última, por sua vez, foi a ponta com menor deriva do experimento, e também apresenta indução de ar.

Figura 21 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado para a ponta Hypro GA110-03 para deposição dos coletores em função da posição (1,1; 2,2; 3,3; 4,4 m), nas pressões de trabalho, dentro de cada velocidade. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de

1,67 m s⁻¹, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de 2,78 m s⁻¹.



Fonte: A autora.

Observa-se que a velocidade de 1,67 m s⁻¹ apresenta valores baixos para deriva, tendo seu maior valor em 500 kPa, distância horizontal de 1,1 m e altura correspondente ao solo, de 15,92 μL cm⁻² (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Enquanto que, para a velocidade de 2,78 m s⁻¹, o maior valor de deriva foi de 43,15 μL cm⁻², sendo também nas mesmas condições de pressão, distância horizontal e vertical (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Nota-se aumento de 171,04% de deriva ocasionado pelo aumento da velocidade no momento da aplicação. Ainda assim, esta ponta se caracterizou como a segunda melhor analisada no experimento em termos de redução de deriva, pelos valores apresentados. Com isso, as duas melhores pontas analisadas em potencial de deriva, ou seja, que apresentaram menores valores de deriva, foram as duas com tecnologia antideriva e indução de ar.

Fixando-se a distância horizontal em 2,2 m e vertical em 0,1 m, pode-se perceber a influência da pressão de trabalho e velocidade de operação durante uma aplicação de defensivos. Na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente, os valores de deriva foram de 3,00, 4,73 e $6,88 \mu\text{L cm}^{-2}$ (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Por sua vez, na velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, seguindo as mesmas pressões, a deriva apresentada foi de 11,24, 17,07 e $20,31 \mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Observa-se aumento de 274,67, 260,89 e 195,20% na deriva, respectivamente, pelo aumento da velocidade de operação. Entre as pressões de trabalho na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, nota-se aumento de deriva de 57,67 e 45,45%, entre 300 e 400 kPa, e 400 e 500 kPa, respectivamente.

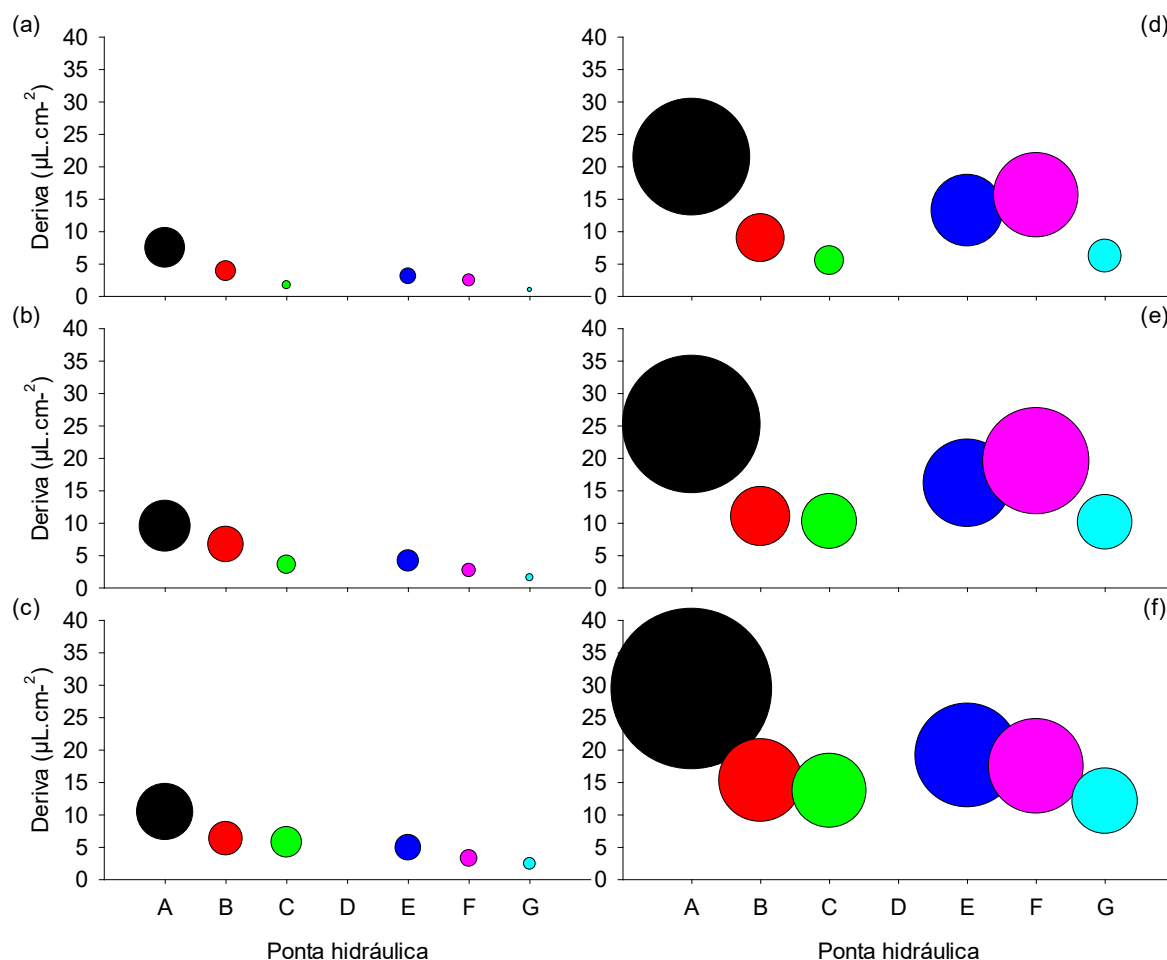
Para que a comparação do potencial de deriva fosse feita entre todas as pontas analisadas neste experimento, apresenta-se a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Nos pontos médios de cada distância, pode-se notar qual a ponta com maior potencial de deriva dentre as estudadas.

Em qualquer pressão e velocidade, destaca-se a ponta de pulverização ConeJet TX-VS12, com os maiores valores. Nas pressões de 300, 400 e 500 kPa, para a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, os valores de deriva foram de 7,49, 9,51 e $10,43 \mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, a deriva foi de 21,47, 25,21 e $29,41 \mu\text{L cm}^{-2}$, para as mesmas pressões, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Assim, esta ponta em termos de potencial de deriva, foi a pior dentre as analisadas nesse estudo.

A segunda ponta que se destaca em tamanho de deriva é a Hypro 3D100-02, com valores maiores que a Hypro 3D100-03 em todas as pressões da velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$ e na pressão de 500 kPa da velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$. Os valores de deriva foram de 3,08, 4,16 e $4,92 \mu\text{L cm}^{-2}$, na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$ e pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já na velocidade $2,78 \text{ m s}^{-1}$, a deriva foi de 13,23, 16,14 e $19,14 \mu\text{L cm}^{-2}$, respectivamente, para as mesmas pressões anteriores (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 22 - Valores de deriva estimados de acordo com o modelo ajustado em ponto médio na distância horizontal (2,75 m) e vertical (0,25 m) para todas as pontas

hidráulicas avaliadas neste experimento. (a), (b) e (c) correspondem a velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$, e para as pressões de trabalho 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. (d), (e) e (f) seguem a mesma ordem das pressões, entretanto, para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.



Sendo: A, ConeJet TX-VS12; B, TeeJet TTJ60-11002; C, TeeJet TT-11002; D, TeeJet TTI-11002; E, Hypro 3D100-02; F, Hypro 3D100-03 e G, Hypro GA110-03.

Fonte: A autora.

Conforme mencionado anteriormente, a ponta TeeJet TTI-11002 só apresentou deriva na primeira distância horizontal analisada, a 1,1 m. Assim, no ponto médio de controle a 2,75 m de distância horizontal, seus valores foram zero, consagrando-se como a melhor ponta antideriva estudada neste experimento. A segunda melhor ponta neste quesito foi a Hypro GA110-03, com deriva de 0,99, 1,57 e 2,43 $\mu\text{L cm}^{-2}$ na velocidade de $1,67 \text{ m s}^{-1}$ e pressões de 300, 400 e 500 kPa, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já para a velocidade de $2,78 \text{ m s}^{-1}$, a ponta de pulverização apresentou valores de deriva de 6,20, 10,13 e 12,10 $\mu\text{L cm}^{-2}$, nas

mesmas pressões anteriores, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Gandolfo et al. (2013) quantificaram deriva gerada pelas pontas AVI 110-015 (jato plano simples com indução de ar) e AXI 110-015 (jato plano simples) em túnel de vento, com herbicida e adjuvantes. Os autores avaliaram deriva por meio de condutividade elétrica em três distâncias horizontais (5, 10 e 15 m) e cinco alturas (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m), mantendo a ponta na altura de 0,5 m. Como no presente estudo, os autores constataram menor deriva conforme a distância horizontal e a altura aumentaram, e classificaram a ponta com indução de ar com os menores valores de deriva também.

Godinho Júnior et al. (2017) analisaram deriva de herbicida em túnel de vento, na velocidade de $2,0 \text{ m s}^{-1}$, com quatro pontas: Jacto JSF110 (leque simples), Magno AD110 (leque simples com pré-orifício), Magno ADIA110 (leque simples com indução de ar) e Magno ADIA110 (leque duplo com indução de ar). A distância horizontal escolhida foi de 2,5 m em relação as pontas e altura de 0,25 m em relação ao piso do túnel. Os autores afirmaram que independentemente da presença do herbicida, as pontas com indução de ar apresentaram maior eficiência na redução de deriva em relação as demais. O mesmo caso foi observado no presente trabalho. Os autores relataram ainda que a ponta de leque duplo proporcionou maior deriva em relação a de leque simples, em relação as duas pontas com indução de ar.

Crause et al. (2019) avaliaram deriva à campo, utilizando pulverizador hidropneumático com a ponta BX-AP/90 (cone vazio, como a ConeJet TX-VS12), com coletores em 17 distâncias horizontais diferentes (variando de 5 à 50 m) e fios em seis alturas (variando de 0,15 a 0,90 m). Os autores concluíram que conforme o aumento da distância horizontal e da altura, houve redução de deposição da calda, ou seja, a deriva diminuiu.

Vieira et al. (2019) analisaram deriva e espectro de gotas em túnel de vento entre adjuvantes e três pontas (leque simples, leque duplo e leque duplo com indução de ar) em duas velocidades do vento ($1,0$ e $2,0 \text{ m s}^{-1}$). Os autores constataram maiores valores de deriva para a ponta DL 11002 (leque duplo) e menores valores para a ponta com indução de ar (DLI 11002). No presente estudo, os maiores valores foram constatados para a ponta ConeJet TX-VS12 (cone vazio). Entretanto, os mesmos

autores constataram que conforme a velocidade do vento aumentou, os valores de deriva também aumentaram, assim como no presente trabalho.

Kullmann & Dias (2020) avaliaram efeito de três velocidades do vento (0,00, 2,22 e 3,33 m s⁻¹) na uniformidade de distribuição com duas pontas de jato leque plano (API 11003 e JAP 11002), na pressão de 414 kPa. Os mesmos autores concluíram que a velocidade do ar influenciou na uniformidade de distribuição, e que conforme o aumento da velocidade do vento, pior foi a uniformidade, para as duas pontas utilizadas. No presente estudo, a maior velocidade do vento utilizada proporcionou os maiores valores de deriva para todas as pontas analisadas.

Chechetto et al. (2013) avaliaram potencial de deriva em túnel de vento, utilizando duas pontas antideriva, uma com pré-orifício (DG 8003 VS) e outra com indução de ar (AI 8003 VS), com seis tipos de adjuvantes nas caldas. Como no presente estudo, os autores viram redução de deriva conforme a distância de coleta da ponta era maior. A ponta que apresentou menor deriva foi a com indução de ar. No presente estudo, a ponta com menor deriva foi a TeeJet TTI-11002, que contém pré-orifício e indução de ar. Todavia, a segunda ponta com menor deriva foi a Hypro GA110-03, na qual também tem a tecnologia de indução de ar, mostrando ser a melhor estratégia na escolha da ponta para redução de deriva. Os mesmos autores concluíram que as pontas de pulverização e os adjuvantes utilizados alteraram diretamente o potencial de deriva, assim como observado neste experimento, na qual a escolha da ponta de pulverização altera o potencial de deriva.

4. Conclusões

- Conforme houve aumento da pressão de trabalho, a deriva também aumentou, para todas as pontas hidráulicas analisadas.
- Conforme houve aumento de velocidade do ar, a deriva também aumentou para todas as pontas hidráulicas analisadas.
- Conforme a distância horizontal aumentou em relação a ponta de pulverização, a deriva reduziu, para todas as pontas analisadas.
- Conforme a distância vertical analisada aumentou, a deriva reduziu, para todas as pontas analisadas.
- A escolha de ponta de pulverização altera o potencial de deriva.
- A ponta com maior risco de deriva foi a convencional ConeJet TX-VS12.
- A ponta com menor risco de deriva foi a TeeJet TTI-11002.
- As melhores pontas para o potencial de deriva, ou seja, apresentaram menores valores de deriva foram as duas com tecnologia antideriva e indução de ar: TeeJet TTI-11002 e Hypro GA110-03.
- A tecnologia antideriva com indução de ar mostrou-se como a melhor estratégia na escolha da ponta para redução de deriva.

5. Referências bibliográficas

Ahmad, F., Qiu, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, S., Chandio, F. A. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and offtarget zones during outer field weed control application. **Computers and Electronic in Agriculture**, v. 172, p. 105-121, 2020.

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. **Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 01, p. 37–46, 2013.

Crause, D. H.; Vitória, E. L.; Soela, D. M.; Oliveira, D. A.; Gonçalves, A. **Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café conilon**. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória – ES, 2019.

Gandolfo, M. A.; Chechetto, R. G.; Carvalho, F. K.; Gandolfo, U. D.; Moraes, E. D. Influence on spray drift of nozzles and adjuvants with a glyphosate spray solution. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 03, p. 474-480, 2013.

Godinho Júnior, J. D., Vieira, L. C., Pereira, L. O. A., Ruas, R. A. A., Faria, V. R., Carvalho Filho, A. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 04, p. 550-554, 2017.

Kullmann, S. E., Dias, V. O. Uniformidade de distribuição volumétrica de duas pontas de pulverização sob efeito da assistência a ar na barra. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, p. 339-351, 2020.

Maciel, C. S., Teixeira, M. M., Fernandes, H. C., Vitória, E. L., Cecon, P. Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2. **Engenharia na Agricultura**, p. 183-199, 2017.

Maciel, C. F. S.; Teixeira, M. M.; Fernandes, H. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 03, p. 430-436, 2018.

Massola, M. P., Holtz, V., Martins, M. P. O., Umbelino, A. S., Reis, E. F. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 22, n.11, p. 804-809, 2018.

Moreira Júnior, O. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. 2009. **Tese** (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

Nascimento, A. B.; Oliveira, G. M.; Balan, M. G.; Higashibara, L. R.; Saab, O. J. G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 05, n. 02, p. 105-110, 2012.

Oliveira, G. M., Gandolfo, M. A., Dalazen, G., Osipe, J. B., Oliveira, S. M., & Silva, M. A. Regression analysis to evaluate herbicide drift and injury in Roundup Ready cotton in wind tunnel. **Ciência Agronômica**, v. 52, n. 2, p.01-08, 2021.

Palladini, L.A. *Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações*. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

Vieira, L. C.; Godinho Júnior, J. D.; Ruas, R. A. A.; Faria, V. R.; Carvalho Filho, A. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 03, p. 331-340, 2019.

Wang, G.; Han, Y.; Li, X.; Andaloro, J.; Chen, P.; Hoffmann, W. C.; Han, X.; Chen, S.; Lan, Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using na agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Revista Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 37, p. 01-13, 2020.

APÊNDICE A - Notas

Tabela 20 - Resumo da ANOVA da variável vazão em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões (PRE).

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		VAZÃO	
PO	6	0,4001**	
Resíduo (a)	14	0,00021	
PRE	2	0,3708**	
POxPRE	12	0,0029**	
Resíduo (b)	28	0,00015	
CV(%)a			
CV(%)b		1,24	

** F significativo a 1% de probabilidade; FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Fonte: A autora.

Tabela 21 - Resumo da ANOVA das variáveis SPAN, DV10, DV50 e DV90 em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões (PRE).

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		SPAN	DV10	DV50	DV90
PO	6	1,0824**	25586,13**	340499,5**	1905502**
Resíduo (a)	28	0,0105	36,53	179,50	527,61
PRE	2	0,0144 ^{ns}	2254,02**	22402,37**	88389,15**
POxPRE	12	0,0125 ^{ns}	21,93 ^{ns}	1717,36**	8803,55**
Resíduo (b)	56	0,0123	27,60	119,06	1035,57
CV(%)a		6,16	6,08	5,42	4,32
CV(%)b		6,65	5,28	4,41	6,06

** F significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} F Não Significativo a 5% de probabilidade; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; SPAN: amplitude relativa; DV10: diâmetro correspondente a 10% de volume; DV50: diâmetro correspondente a 50% de volume; DV90: diâmetro correspondente a 90% de volume.

Fonte: A autora.

Tabela 22 - Resumo da ANOVA das variáveis V100, 100V150 e V500 em função das pontas hidráulicas (PO) e pressões de trabalho (PRE).

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		V100	100V150	V500
PO	6	1464,85**	1585,66**	565,22**
Resíduo (a)	28	3,87	1,73	2,56
PRE	2	396,84**	119,39**	192,04**
POxPRE	12	27,83**	24,01**	28,63**
Resíduo (b)	56	4,49	1,96	2,85
CV(%)a		12,31	6,93	11,98

		Tarde	27,77
	13/09/2021	Manhã	19,42
		Tarde	30,51
	14/09/2021	Manhã	21,02
		Tarde	30,86
	15/09/2021	Manhã	20,12
		Tarde	33,17
Hypro GA110-03	16/09/2021	Manhã	21,42
		Tarde	33,17
	17/09/2021	Manhã	20,52
		Tarde	27,00

T média: temperatura média.

Fonte: A autora.