

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ  
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Henrique Gomes Macedo

**PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO DE PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICA JATO CÔNICO**

BambuÍ

2024

HENRIQUE GOMES MACEDO

**PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO DE PONTAS DE  
PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICA JATO CÔNICO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia, do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí*, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Robson Shigueaki Sasaki

Bambuí

2024

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

M141p Macedo, Henrique Gomes.  
Perfil e uniformidade de distribuição de líquido de pontas de pulverização hidráulica jato cônico. / Henrique Gomes Macedo. – 2024.  
28 f.; il.: color.

Orientador: Dr. Robson Shigueaki Sasaki.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Bacharelado em Agronomia, 2024.

1. Cone vazio. 2. Mesa padronizada. 3. Altura do alvo. I. Sasaki, Robson Shigueaki. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 627.52



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS  
Campus Bambuí  
Diretoria de Ensino  
Departamento de Engenharia e Computação  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

## DECLARAÇÃO

HENRIQUE GOMES MACEDO

### PERFIL E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO HIDRÁULICA JATO CÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 21 de Agosto de 2024

Prof. Robson Shigueaki Sasaki (Orientador - IFMG Campus Bambuí)

Prof. Hêner Coelho (Professor - IFMG Campus Bambuí)

Prof. Vladimir Antônio Silva (Professor - IFMG Campus Bambuí)

Bambuí, 21 de agosto de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Robson Shigueaki Sasaki, Professor**, em 27/08/2024, às 13:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Vladimir Antonio Silva, Professor**, em 27/08/2024, às 13:55, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Hener Coelho, Professor**, em 27/08/2024, às 14:17, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consulta/docs> informando o código verificador **2017783** e o código CRC **FC4503AA**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar cada passo que dei até aqui.

À minha mãe e familiares, pelo amor, dedicação, sacrifícios e esforços voltados para os meus sonhos.

Às minhas irmãs, pelo carinho.

Aos meus avós, meus maiores exemplos, que me fizeram querer ir atrás dos meus sonhos e me incentivaram a ser a melhor pessoa que eu pudesse.

Ao professor orientador, que, durante esse período, me acompanhou pontualmente, dando todo auxílio necessário para elaboração do meu trabalho.

Aos professores do curso de Agronomia que, através dos seus ensinamentos, contribuíram para a minha formação.

## RESUMO

A utilização de pontas de pulverização hidráulica é uma ferramenta de suma importância no controle fitossanitário de uma lavoura. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi: 1) Avaliar uniformidade de distribuição de líquidos e 2) Avaliar perfil de distribuição de líquido. O presente trabalho avaliou o comportamento de três modelos de ponta cone vazio, nas pressões de 300, 400 e 500 kPa e a altura do alvo de 0,4 e 0,5 metros. Utilizando uma mesa padronizada, a coleta das gotas e provetas para quantificação do volume de líquido, calculando o coeficiente de variação das mesmas, foi possível observar distintos valores, situações com baixo CV e outras com elevado CV, o que indica uma má distribuição volumétrica. Analisando também o perfil de distribuição individual dessas pontas, foram encontradas projeções que são comuns em pontas cone vazio, sendo depressão na zona central do jato e concentração de gotas na projeção do jato.

**Palavras-chave:** Cone vazio, mesa padronizada, altura do alvo

## **ABSTRACT**

The use of hydraulic spray tips is an extremely important tool in the phytosanitary control of a crop. Therefore, the objective of this work was: 1) Evaluate uniformity of liquid distribution and 2) Evaluate liquid distribution profile. The present work evaluated the behavior of three empty cone tip models, at pressures of 300, 400 and 500 kPa and target heights of 0.4 and 0.5 meters. Using a standardized table to collect drops and beakers to quantify the volume of liquid, calculating their coefficient of variation, where it was possible to observe different values, situations with low CV and others with high CV, which indicates poor volumetric distribution. Also analyzing the individual distribution profile of these tips and finding projections that are common in empty cone tips, being depression in the central zone of the jet and concentration of drops in the jet projection.

**Keywords:** Empty cone, standardized table, target height.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limites de temperatura e umidade relativa do ar para diferentes tamanhos de gotas .....	12
Figura 2: Representação da cobertura oferecida pela pulverização, com diferentes tamanhos de gotas.....	13
Figura 3: Representação gráfica da direção e deposição das gotas sobre um alvo. ....	14
Figura 4: Imagem ilustrativa dos padrões dos jatos de pulverização: cone cheio e vazio .....	16
Figura 5: Principais formas de deriva, durante aplicação de produtos fitossanitários .....	17
Figura 6: Representação do perfil de distribuição volumétrica de ponta cone vazio .....	19
Figura 7: Mesa padronizada .....	20
Figura 8 : Perfil de distribuição de líquido ponta A 80° 01.....	23
Figura 9: Perfil de distribuição de líquido ponta B 80° 015.....	24
Figura 10: Perfil de distribuição de líquido ponta CH 80° 03 .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vazão das pontas .....	21
Tabela 2: Coeficiente de variação (%) – Ponta A 80° 01 .....	21
Tabela 3: Coeficiente de variação (%) – Ponta B 80° 015 .....	22
Tabela 4: Coeficiente de variação (%) – Ponta C 80° 03 .....	22

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Tecnologia de Aplicação de Defensivos .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Espectro de Gotas e Cobertura .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Fatores na Aplicação de Defensivos .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>Pontas de Pulverização Hidráulica .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5</b>	<b>Deriva.....</b>	<b>16</b>
<b>3.6</b>	<b>Distribuição e Uniformidade .....</b>	<b>17</b>
<b>3.7</b>	<b>Perfil de Distribuição .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda em larga escala, o uso de defensivos agrícolas tem se tornado cada vez mais comum. Entretanto, a preocupação ambiental e a exigência dos consumidores, em relação aos produtos que consomem, tornam de extrema importância a utilização correta dos insumos agrícolas e a sua aplicação racional. As indústrias brasileiras de defensivos são de grande importância no âmbito nacional e internacional, apresentando grande crescimento ao longo dos anos, devido às estratégias de mercado adotadas.

Nota-se que, atualmente, há a falta de informações sobre as tecnologias de pulverização disponíveis. As aplicações podem entregar o efeito desejado, desde o uso do equipamento mais simples, como a bomba costal para pequenas áreas, até os mais sofisticados, como os pulverizadores autopropelidos.

A escolha e o uso correto de pontas em pulverizadores são de suma importância para a aplicação de defensivos agrícolas. Visto que, ao alterar os tipos de ponta e pressão, teremos diversas vazões ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ), volumes ( $L \cdot \text{ha}^{-1}$ ) e diâmetros de gotas, que devem ser adaptados às condições de cada situação, no que diz respeito à cultura trabalhada, à arquitetura da planta no momento e à condição do equipamento disponível. Segundo Cunha *et al.*, (2007), os parâmetros que afetam o espectro de gotas produzidas, por determinada ponta de pulverização são: vazão nominal, ângulo de abertura, pressão de trabalho e o tipo de ponta de pulverização.

Segundo Contiero *et.al* (2018), pontas de jato cônico usualmente tem finalidade para aplicação de inseticidas e fungicidas, sobretudo em culturas que apresentam grande massa foliar e necessitam de boa penetração de gotas no dossel da planta, ocorrendo a cobertura total e boa aplicação do produto. Essas pontas possuem um espectro menor, com maior densidade gotas/cm<sup>2</sup>, pois trabalham com pressões elevadas de 2 a 10 Bar, favorecendo a deriva.

Durante a aplicação dos defensivos agrícolas, deve-se conhecer os locais de aplicação e atentar-se para que não sejam produzidas gotas muito grandes e nem muito pequenas, adequando seu tamanho de acordo com as necessidades do local em que irá trabalhar, garantindo a eficácia do produto, padrão de gotas homogêneo e distribuição uniforme.

De acordo com Murphy (2000) e Wolf (2000), em gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , a deriva ocorre com facilidade, pois são mais fáceis de serem carregadas pelo vento. Portanto, gotas com diâmetro maiores que 800  $\mu\text{m}$  tendem a escorrer da superfície-alvo, principalmente, quando o tratamento não é dirigido diretamente ao solo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os padrões de distribuição e uniformidade de pontas de pulverização e suas variáveis, para verificar a eficiência de aplicação em jato cônico.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar uniformidade de distribuição de líquidos;
- Avaliar perfil de distribuição de líquido.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Tecnologia de Aplicação de Defensivos**

Quando se fala em tecnologia de aplicação, devemos entender que são todos os fatores que favorecem o objetivo daquela pulverização, ou seja, a tecnologia de aplicação tem por objetivo colocar a molécula do princípio ativo no alvo.

Apesar de cada vez mais se exigir do produtor rural a utilização correta e criteriosa dos insumos agrícolas, o que se observa no campo é a falta de informação a respeito da tecnologia de aplicação.

O sucesso no manejo fitossanitário depende de um conjunto de conhecimentos. O objetivo principal é permitir um bom controle, diminuindo os danos, evitando efeitos negativos ao ambiente e garantindo a sustentabilidade do sistema. Para isso, o primeiro passo é o correto monitoramento da lavoura e, em função disso, tomar a decisão de aplicar os defensivos agrícolas no momento mais oportuno. Com o aumento do custo da mão de obra e da energia, bem como a crescente preocupação com a poluição ambiental, devem-se aperfeiçoar, a cada dia, os métodos de aplicação de defensivos agrícolas, minimizando, assim, as perdas para o meio ambiente (CONTIERO, 2018). Para isso, são necessários procedimentos e equipamentos mais adequados para garantir maior proteção tanto ao operador quanto ao meio ambiente.

De acordo com Santos (2005), a tecnologia de aplicação baseia-se em dois

princípios: a) pulverização, que se entende como o processo físico-mecânico que transforma uma substância líquida em gotículas e b) aplicação, definida como a deposição do ingrediente ativo sobre o alvo. Segundo o mesmo autor, a interpretação e aplicação das definições anteriores estão diretamente ligadas ao sucesso e às implicações do uso de defensivos agrícolas.

As aplicações de defensivos precisam que o produto atinja seu referido alvo, sem desvio, durante a trajetória e que possa chegar a esse alvo sem risco de escorrimento, evaporação ou não absorção. Portanto, o sucesso da aplicação está ligado, diretamente, com a correta seleção das pontas, volume de calda, parâmetros operacionais, condições ambientais, momento da aplicação e o estudo das relações entre o tipo de alvo e a forma de ação do defensivo (ANTUNIASSI; BAILO, 2008).

Em resumo, a utilização de defensivos demanda a consideração das diversas variáveis presentes durante o processo de pulverização, visando a escolha da técnica mais apropriada (FERRER, 2014).

Para uma pulverização ser eficiente, precisa-se levar em conta as condições meteorológicas (Figura 1) e, se não respeitadas, podem diminuir o objetivo da mesma, ocasionando perdas por deriva, na presença de ventos excessivos, e perdas por evaporação com baixa umidade e alta temperatura (ANTUNIASSI, 2009).

Figura 1: Limites de temperatura e umidade relativa do ar para diferentes tamanhos de gotas

Fatores	Classes de gotas de acordo com as condições climáticas		
	Muito finas ou finas	Finas ou médias	Médias ou grossas
<b>Temperatura</b>	Abaixo de 25°C	25 a 28 °C	Acima de 28 °C
<b>Umidade Relativa</b>	Acima de 70%	60 a 70%	Abaixo de 60%

Fonte: Antuniassi et al., (2009)

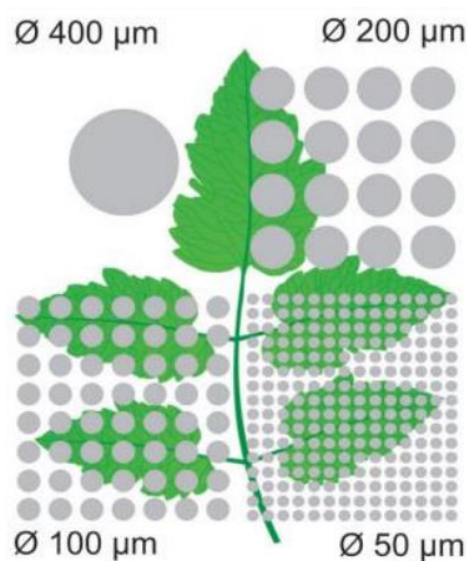
Al Heidary *et al.* (2014) destacam a complexidade de tirar conclusões sobre a deriva, pois esta é influenciada por uma combinação de diversos fatores. Os autores classificam esses fatores em três grupos distintos: características das partículas aplicadas, como diâmetro, aceleração e desaceleração, além da compatibilidade da mistura; fatores operacionais da pulverização, como a distância das pontas ao alvo, a pressão do sistema e o movimento do pulverizador, e fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

### 3.2 Espectro de Gotas e Cobertura

Para que a aplicação de defensivos seja adequada, deve-se escolher o tamanho das gotas conforme as condições climáticas e o tipo de alvo. Por exemplo: caso a aplicação seja feita em locais de baixa umidade e temperaturas altas, devem-se utilizar gotas maiores, que reduzem o risco de evaporação (BAESSSO, 2014). Nos dois casos, há falha no processo de aplicação. Esses fatores devem ser considerados em primeiro lugar para o planejamento de uma aplicação.

Gotas finas ( $<200 \mu\text{m}$ ) são mais arrastadas pelo vento e causam problemas com contaminação de outras áreas, além de evaporarem antes de atingirem o alvo. Porém, tem melhor cobertura do alvo e maior quantidade de deposição de gotas por  $\text{cm}^2$  (em condições climáticas adequadas), apresentam também alta capacidade de penetração no dossel da cultura e reduzem a possibilidade de escoamento do produto nas folhas. Gotas médias ( $200 - 400 \mu\text{m}$ ) apresentam características intermediárias às das gotas grandes e pequenas. Gotas grossas ( $> 400 \mu\text{m}$ ) são menos arrastadas pelo vento e apresentam menores problemas com a evaporação no trajeto da ponta ao alvo (Figura 2), porém, proporcionam menor cobertura da superfície a ser tratada e concentração de gotas por  $\text{cm}^2$ ; apresentam baixa capacidade de penetração no dossel da cultura e elevam a possibilidade de escoamento do produto nas folhas (BOZOLI, 2022).

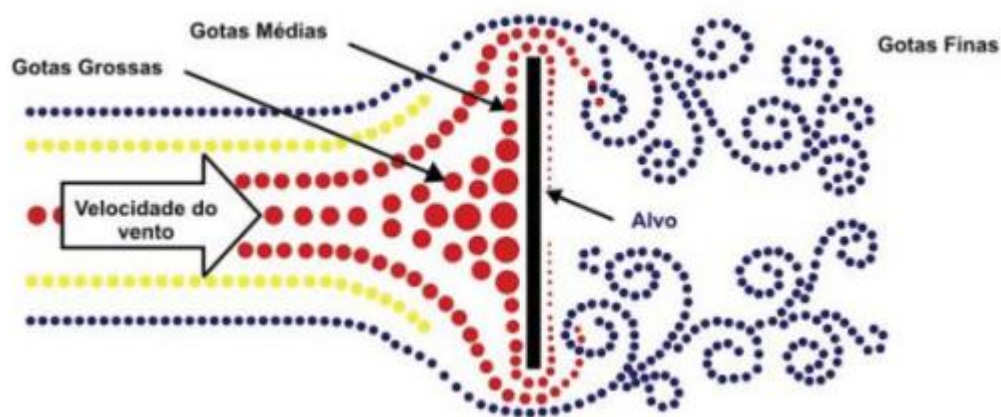
Figura 2: Representação da cobertura oferecida pela pulverização, com diferentes tamanhos de gotas



Fonte: Pereira; Moura; Pinheiro (2015)

A cobertura ideal depende do tipo de alvo que deseja atingir. No caso de doenças fúngicas e a utilização de produtos de contato (Figura 3), exige-se elevada cobertura, devendo-se usar gotas pequenas. Outro exemplo é a utilização de herbicidas de contato. Nesse caso, deve-se optar por maior cobertura, pois o alvo deve ser atingido pela gota e evitar a deriva, diferentemente do controle de fungos por um fungicida sistêmico, em que a cobertura não é tão importante, já que o produto será absorvido pela planta.

Figura 3: Representação gráfica da direção e deposição das gotas sobre um alvo.



Fonte: Contiero; Biffe; Catapan (2018).

A avaliação do espectro de gotas na aplicação de agroquímicos é importante pois, dependendo do alvo a ser controlado, exigirá gotas de maior ou menor diâmetro, no qual o modelo da ponta irá interferir na distância em relação ao alvo, na pressão de trabalho ao ângulo de pulverização, quanto ao tipo de produto utilizado, dentre outros fatores (CÂMARA *et al.*, 2008).

### 3.3 Fatores na Aplicação de Defensivos

O clima, que é um dos fatores limitantes à sobrevivência da planta, também atua diretamente sobre a qualidade de uma pulverização. A temperatura, a umidade relativa e a velocidade do vento são alguns pontos a serem considerados antes de entrar com o maquinário na lavoura. Altas temperaturas, associadas a altas umidades, constituem condições ideais para desenvolvimento de doenças, pragas e plantas daninhas. Em condições de ventos, deve-se tomar cuidado com a deriva, principalmente nas operações de herbicidas. O vento é um dos principais fenômenos climáticos que interferem na aplicação, agindo diretamente sobre as gotas, de maneira a alterar o deslocamento delas em direção ao alvo, sendo um dos principais motivos

das perdas dos ativos e, conseqüente, contaminação ambiental.

### **3.4 Pontas de Pulverização Hidráulica**

A escolha e o uso adequado de pontas de pulverização são essenciais para a melhoria das condições de precisão e segurança, na aplicação de defensivos. O conhecimento das condições de trabalho e, principalmente, do desempenho operacional das pontas é básico para uma aplicação eficiente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

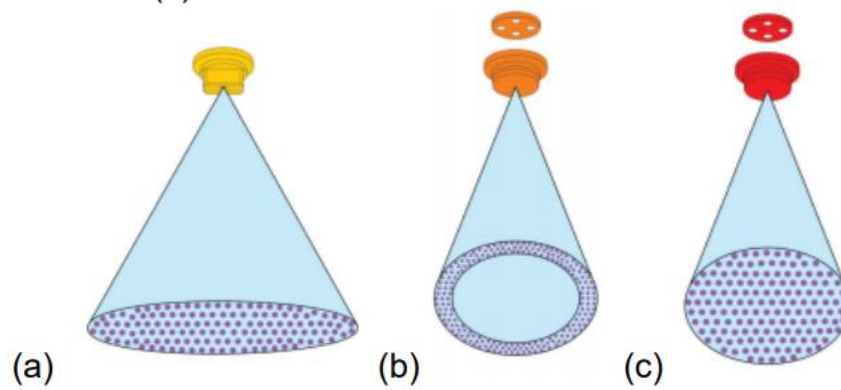
Entre as pontas mais usadas, destacam-se as de jato cônico vazio e as de jato plano, também chamada de leque, as quais, dependendo da pressão e do ângulo de abertura, podem causar muita deriva. Para contornar esse problema, os fabricantes lançaram no mercado pontas com potencial antideriva. Um dos modelos, de pontas de jato plano antideriva, é dotado de um pré-orifício, localizado antes da abertura para a formação do jato, que produz gotas com maior diâmetro. Em relação a gotas muito finas, geralmente, é possível obter boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição do líquido, entretanto, algumas gotas podem evaporar em condições de baixa umidade relativa ou arrastadas pela corrente de ar (CUNHA, 2005).

Vários pesquisadores consideram que gotas inferiores a 100  $\mu\text{m}$  são facilmente levadas pelo vento, estando mais suscetíveis aos fenômenos climáticos (SUMNER, 1997). Os parâmetros mais importantes para a determinar o número de gotas são o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ . Essas propriedades definem o potencial de deriva de gotas, a uniformidade de gotas e o tamanho delas, produzidas por uma determinada ponta de pulverização. Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR), maior será a faixa de tamanho das gotas pulverizadas. Espectro de gotas uniformes tendem valores de amplitude relativa a zero. Os valores de DMV e amplitude relativa devem ser analisados em conjunto para a caracterização da aplicação. Isoladamente, o DMV é um valor de referência e não determina a dispersão dos dados em torno desse valor (VIANA, 2010).

A escolha adequada da ponta de pulverização envolve a avaliação de vários fatores: as condições no campo, a exigência de cobertura, o tamanho e a densidade das gotas, a classe e o modo de ação do produto, o volume de aplicação e as perdas por deriva (NEGRISOLI, 2018).

As pontas de jato cônico possuem um mecanismo interno com uma ou mais aberturas, cuja função é gerar a rotação do líquido em uma pequena câmara antes de chegar ao orifício de saída. Dessa forma, ao ser expelido, o líquido tangencia a borda circular do orifício, gerando o formato cônico (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018).

Figura 4: Imagem ilustrativa dos padrões dos jatos de pulverização: cone cheio e vazio



Fonte: Pereira; Moura; Pinheiro (2015).

Legenda: a) Projeção de jato cônico

b) Jato cônico vazio

c) Jato cônico cheio

As pontas de cone vazio são indicadas para aplicações sobre massas vegetais com grande superfície como, por exemplo, culturas perenes (MARANGONI JUNIOR, 2018). Segundo o mesmo autor, pontas de cone cheio produzem gotas mais grossas, em comparação com as de cone vazio e seu jato projeta-se em seu interior (Figura 4).

### 3.5 Deriva

A deriva é frequentemente associada com movimento físico das gotas pulverizadas para fora do local designado no momento da aplicação. Ela é definida como a quantidade de agroquímicos utilizados para proteção das plantas, que são desviados para fora do alvo a ser atingido por correntes de ar durante ou depois das aplicações (MILLER, 1993).

Esse transporte ocorre durante ou depois da aplicação e pode ser na forma de gotas ou vapor, sendo a segunda muito dependente da pressão de vapor e das características físico-químicas da formulação (MILLER, 2004). Embora o termo deriva tenha sido utilizado de maneira geral, há dois tipos principais de deriva: endoderiva e exoderiva. Pode ser chamada de endoderiva, quando a perda do produto ou partículas ocorre dentro da área alvo (por exemplos: escorrimento causado por excesso de calda ou gotas muito grandes) e exoderiva, a perda do produto ocorre fora dos domínios da área alvo (por exemplos: gotas pequenas levadas por correntes de ar) (ANTUNIASSI, 2009).

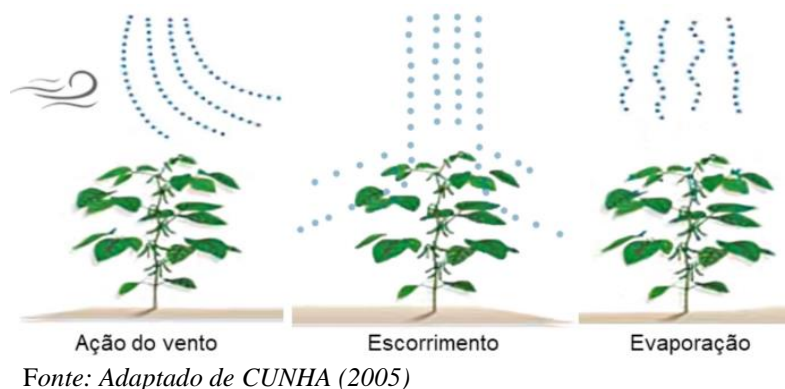
A deriva simplesmente pode ser um deslocamento da gota pulverizada, a distâncias não superiores a 10 metros do ponto de formação das gotas, ou deslocamento de gotas menores

que se depositam em locais não desejados.

O uso de certos adjuvantes também é uma prática usual no controle da deriva. Eles atuam de diversas maneiras e, associados ao produto principal, podem promover alterações nas propriedades físico-químicas das caldas (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017). Porém, dependendo da interação desses adjuvantes com as pontas hidráulicas, o espectro de gota de pulverização pode ser alterado negativamente, elevando-se as perdas (GANDOLFO *et al.*, 2013).

Compreender a interação entre adjuvantes, tipos de pontas e defensivos é essencial para sugerir alternativas, que ajudem o produtor a minimizar a deriva durante as pulverizações, utilizando as tecnologias disponíveis no mercado a seu favor. Nesse sentido, Gil e Sinfort (2005) também enfatizam a importância de considerar fatores climáticos, como temperatura, umidade e velocidade do vento, que são determinantes para o sucesso da pulverização. Rajadas de vento e aumentos na temperatura, combinados com baixa umidade relativa do ar, podem aumentar significativamente as perdas durante a pulverização (Figura 5).

Figura 5: Principais formas de deriva, durante aplicação de produtos fitossanitários



Além disso, a produção de partículas menores pelas pontas de pulverização favorece a deriva e a volatilidade dos agroquímicos (ANTUNIASSI, 2005)

### 3.6 Distribuição e Uniformidade

A uniformidade de distribuição do volume de gotas de pulverização é uma característica, que serve de referência para verificar a distribuição do princípio ativo no alvo. Essa uniformidade é diretamente afetada pelo espaçamento entre pontas, pressão de operação, altura do alvo e o ângulo de abertura do jato das pontas de pulverização (DA VITÓRIA,

2014).

A uniformidade da distribuição é avaliada pelo coeficiente de variação e da sobreposição da deposição de um conjunto de pontas em uma barra (Bauer & Raetano, 2004).

A norma UNE-EN 12761:2 (2002) recomenda uniformidade de distribuição que, ao utilizar a altura, espaçamento e pressão recomendados pelo fabricante, o coeficiente de variação (CV%) da sobreposição do jato seja inferior a 7% e pode ser de até 9 %, em diferentes configurações. Se a distribuição de calda for menor que o volume mínimo exigido, tem-se uma aplicação ineficiente e quantidades acima, causam perdas financeiras, além de fito toxidez na cultura e danos ao meio ambiente (CORDEIRO, 2001).

A uniformidade de distribuição do jato produzido é fundamental para a distribuição adequada do produto sobre o alvo, aumentando, dessa forma, a possibilidade de controle da praga. Para a realização desses estudos, é imprescindível mesa ou bancada de teste, na qual canaletas realizam a coleta do líquido a distâncias pré-determinadas e a depositam em recipientes individuais (CHAPPLE *et al.*, 1993).

Cunha *et al.* (2007) compararam o coeficiente de variação simulado e medido em bancadas de ensaio de forma semelhante. Trabalhando com pontas de jato cônico, concluíram que a simulação nem sempre representa de forma correta a uniformidade de distribuição. É preciso verificar, experimentalmente, a relação existente entre o coeficiente de variação simulado e o medido em laboratório. Siqueira e Antuniassi (2011), trabalhando com inspeção de pulverizadores, observaram que as falhas no processo de pulverização de maior frequência ocorreram na adequação do manômetro, no estado e na conservação das pontas de pulverização e calibração com erros maiores de 50% da taxa de aplicação desejada.

De acordo com Antuniassi e Boller (2011), o coeficiente de variação é excelente indicador de desgaste das pontas de pulverização. As pontas desgastadas extrapolam esse limite e não devem ser usadas, independentemente da pressão de trabalho, em razão do desgaste que sofreram pelo tempo de uso.

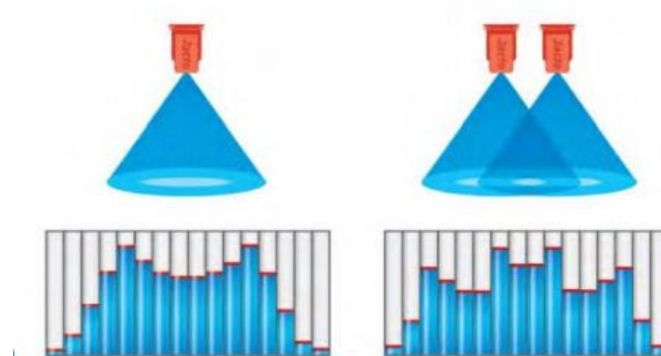
De acordo com o padrão europeu EN 12761-2 (2001), o coeficiente de variação não deve exceder 7% para altura da barra e pressão de trabalho principais, estabelecidas pelo fabricante. Por outro lado, para as demais alturas e pressões, o coeficiente não deve exceder 9%, visando garantir uma aplicação uniforme. No entanto, é comum pontas de jato cônico vazio apresentarem coeficiente de variação maior que 30%, ao longo da barra com pontas novas e isso ocorre uma vez que estas pontas apresentam picos de deposição de volume na extremidade do perfil de distribuição e, ao sobrepor jatos adjacentes, estes picos ficam ainda mais elevados, aumentando o coeficiente de variação (BOLLER & RAETANO, 2011)

### 3.7 Perfil de Distribuição

O perfil da distribuição volumétrica é um parâmetro utilizado para verificar a qualidade da aplicação do ingrediente ativo no alvo. Essa uniformidade depende do espaçamento entre as pontas, da pressão de trabalho, da altura da barra em relação ao alvo e do ângulo de abertura do jato das pontas de pulverização (DA VITÓRIA *et al.*, 2014).

Negrisola (2018) afirma que cada ponta possui um perfil de deposição característico (Figura 6), portanto, conhecer o comportamento das pontas, em diferentes configurações, torna-se importante, a fim de tornar a aplicação mais satisfatória.

Figura 6: Representação do perfil de distribuição volumétrica de ponta cone vazio



Fonte: Máquinas Agrícolas Jacto S/A, Brasil.

O coeficiente de variação é o critério mais utilizado para caracterizar a uniformidade da distribuição (LODWIK; PIETRZYK; MALESA, 2020). Smith (1992) define 15% como coeficiente de variação máximo para aplicações em campo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas, anexo ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, do IFMG – Campus Bambuí, utilizando uma mesa padronizada de acordo com as normas ISO 5682/1 (ISO 1986) e ASTM E641-01 (2012). Foram utilizados três modelos de ponta de pulverização do tipo cone vazio, sendo cinco pontas na barra, dos seguintes modelos: 80° 01, 80° 015 e 80° 03, denominadas também de pontas A, B e C, respectivamente (Figura 7).

Figura 7: Mesa padronizada



Fonte: Autor (2024).

Legenda: A: Proveta para coleta do líquido, B: Porta bicos, C: Manômetro, D: Barra, E: Canaleta para coleta de gotas.

As variáveis do trabalho analisadas foram três pressões de trabalho, sendo 300, 400 e 500 kPa e também a altura de 0,4 e 0,5 m do alvo. Sendo, ao total, seis tratamentos para cada modelo de ponta e executando quatro repetições de cada tratamento. A mesa de coleta conta com 34 provetas de 250mL, cinco porta-bicos e uma bomba elétrica, com vazão máxima de 15 L min<sup>-1</sup> de 1 kW de potência, com regulagem de pressão.

Durante a coleta, foi utilizado um manômetro para aferição da pressão e o tempo de cada coleta foi de um minuto.

A metodologia da coleta foi observar qual o volume de líquido dentro de cada proveta, realizando os cálculos em uma tabela, fazendo a média geral e o desvio padrão, conseqüentemente, observando o coeficiente de variação de cada repetição, conforme a equação a seguir:

$$CV = (s / X) \times 100$$

Onde: CV = coeficiente de variação (%)

s = desvio padrão (mL)

X = volume médio dos valores analisados (mL)

Também foi avaliado o perfil de distribuição de cada ponta, sendo observada apenas a ponta central da barra, isolando as demais, considerando o volume de líquido nas 38 provetas, com o tempo de coleta de um minuto, entendendo, assim, a uniformidade individual de cada modelo de ponta. Também foi coletada a vazão (L min<sup>-1</sup>) de todas as pontas, nas três pressões,

com quatro repetições (Tabela 1).

Tabela 1: Vazão das pontas

<b>Modelo de ponta</b>	<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Vazão (L/min)</b>
<b>A 80° 01</b>	<b>300</b>	0,406
	<b>400</b>	0,463
	<b>500</b>	0,516
<b>B 80° 015</b>	<b>300</b>	0,573
	<b>400</b>	0,656
	<b>500</b>	0,714
<b>C 80° 03</b>	<b>300</b>	1,18
	<b>400</b>	1,37
	<b>500</b>	1,53

*Fonte: Elaborado pelo autor (2024)*

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De posse dos dados coletados, constatou-se que a uniformidade de distribuição variou em função da altura do alvo e pressão de trabalho (Tabela 2).

Tabela 2: Coeficiente de variação (%) – Ponta A 80° 01

<b>A 80° 01</b>			
<b>Altura de trabalho (m)</b>	<b>Pressão de trabalho (kPa)</b>		
	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>
<b>0,4</b>	11,7	19,5	25,7
<b>0,5</b>	15,2	20,2	23

*Fonte: Elaborado pelo autor (2024)*

Na avaliação da uniformidade de distribuição, verificou-se o efeito do tipo de ponta, em função da altura e da pressão de trabalho. Observou-se que essa uniformidade de distribuição foi afetada pelas condições de trabalho.

Observando os dados da Tabela 2, percebe-se que o CV aumenta à medida que a pressão também aumenta, em ambas as alturas e que, para a ponta A 80° 01, a melhor condição de trabalho foi a 300 kPa e 0,4m de altura, onde se obtiveram os menores valores do coeficiente de variação (CV). Nota-se também que, a 500 kPa, a eficiência da pulverização foi reduzida. Cunha e Silva (2010) afirmam que o aumento da altura melhora o espalhamento do líquido, o

que interfere na uniformidade da sobreposição e, conseqüentemente, no coeficiente de variação (CV).

De acordo com a Tabela 3, observa-se que a melhor condição de trabalho para a ponta B 80° 015 é de 300 kPa e 0,4 m, onde o CV é de 14,5%. Já para as pressões de 400 e 500 kPa, em ambas as alturas, o coeficiente de variação também aumenta, indicando elevada desuniformidade durante a pulverização.

Tabela 3: Coeficiente de variação (%) – Ponta B 80° 015

<b>B 80° 015</b>			
<b>Altura de trabalho (m)</b>	<b>Pressão de trabalho (kPa)</b>		
	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>
<b>0,4</b>	14,5	19	27,2
<b>0,5</b>	18,2	20,2	25

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

De acordo com a Tabela 4, a avaliação de uniformidade da ponta C 80° 03, sob pressão de 500 kPa, em ambas as alturas, o CV foi menor quando comparado à pressão de 300 kPa. Mostra também que a melhor condição foi a de 400 kPa e 0,50m de altura, cujo coeficiente tem em média 13,75%.

Tabela 4: Coeficiente de variação (%) – Ponta C 80° 03

<b>C 80° 03</b>			
<b>Altura de trabalho (m)</b>	<b>Pressão de trabalho (kPa)</b>		
	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>
<b>0,4</b>	17,5	18,7	16
<b>0,5</b>	22	13,7	14,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Da Vitória (2014) avaliou pontas cone vazio, novas e usadas, em laboratório simulado, em mesa de prova a 0,5 m do alvo, e encontrou os valores a seguir, em pontas usadas: 400kPa tem-se CV=14,5% e 600 kPa CV=22,5%. Houve diferença significativa, segundo o mesmo autor, que afirma que o CV ficou 10% acima do garantido, o que pode indicar um desgaste das pontas. Ele também afirma que, a partir do momento que aumenta a pressão, conseqüentemente, a vazão aumenta e provoca uma má qualidade de distribuição volumétrica.

Cunha *et al.* (2004) verificaram a melhor uniformidade de distribuição nas maiores pressões trabalhadas. Segundo eles, para a ponta MAG 2, as melhores condições foram a 300

kPa de pressão e 50 cm de altura. Os autores também avaliaram pontas do modelo TVI 80-015 nas pressões de 400 e 500 kPa e nas alturas da barra de 0,4 e 0,5 m, encontrando valores que corroboram com este trabalho, com coeficiente de variação acima de 20%

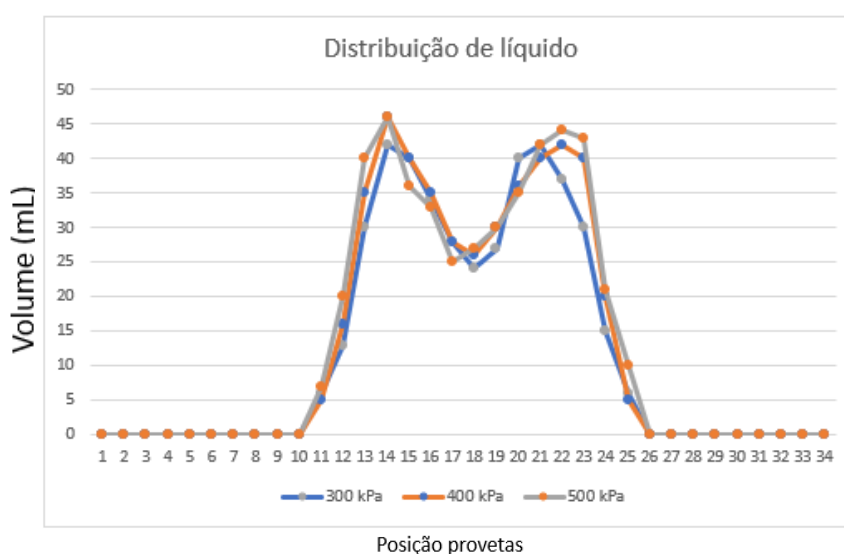
Atualmente, com o grande número de modelos de pontas hidráulicas, cada uma tem suas características individuais que se diferenciam, desde vazão, espectro de gotas, pressão de trabalho, perfil de distribuição etc. Além disso, o uso de adjuvantes, que melhoram a eficiência da pulverização, tendo influência sobre a deposição de líquidos (GRIESANG, 2017).

O trabalho desenvolvido por Barra (2010) avaliou o CV na ponta MAG 2 e em pressões de 500 kPa e 50cm de altura da barra, no qual obteve-se o valor de CV= 21%

Alterar a altura da barra proporciona faixas de aplicação diferentes, ou seja, à medida que se aumenta a distância entre a ponta de pulverização e o alvo, conseqüentemente, aumenta-se também a influência do vento sobre as gotas, havendo maior possibilidade de deriva. De posse de tais informações, destaca-se a importância da escolha da ponta que será utilizada para garantir a eficiência da pulverização, a distribuição uniforme e a otimização do serviço.

Observando o perfil de distribuição para a ponta 80/01 (Figura 8), nas 3 pressões, observa que a 300 kPa tem-se uma distribuição mais uniforme: ao aumentar para 500 kPa concentrou-se gotas na projeção do jato e aumentou a depressão central, que é um fator negativo quando se pensa em qualidade de distribuição.

Figura 8 : Perfil de distribuição de líquido ponta A 80° 01.

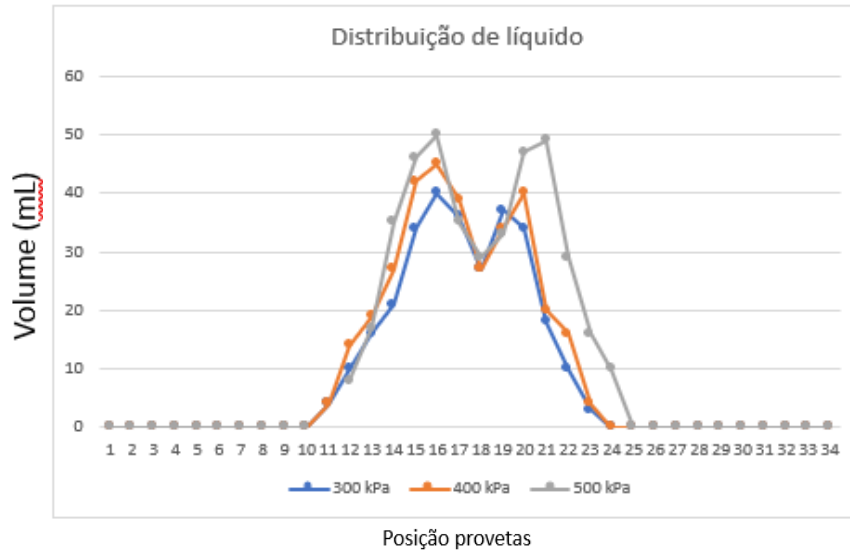


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao analisar o perfil de distribuição da ponta modelo B 80° 015, eles indicam que, à

medida que a pressão de trabalho cresce, há aumento da depressão da zona central do perfil de gotas (Figura 9).

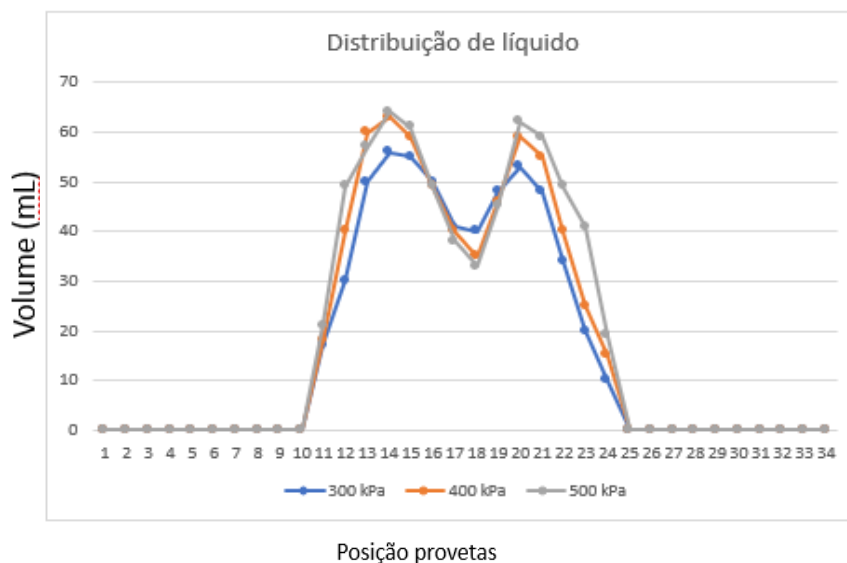
Figura 9: Perfil de distribuição de líquido ponta B 80° 015.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Observando o perfil de distribuição da ponta C 80° 03 (Figura 10), tem-se o mesmo padrão na distribuição de líquidos, esperados para as pontas cone vazio, provocando uma depressão central e picos nas laterais do jato, aspecto esse que foi observado nas pressões de 300, 400 e 500 kPa.

Figura 10: Perfil de distribuição de líquido ponta CH 80° 03



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Avaliações de pontas cone vazio determinaram, de maneira geral, que elas proporcionaram perfis irregulares, com depressão na zona central e picos nas extremidades, o que dificulta a uniformidade de distribuição em tratamentos em área total (CUNHA, 2007).

Em geral, para alcançar uma distribuição uniforme, as pontas devem ter um perfil triangular e simétrico. Isso facilita a sobreposição adequada dos jatos de pressão adjacentes (CUNHA, 2007).

## **6 CONCLUSÃO**

Alterar a altura da barra e pressão influencia diretamente na distribuição do líquido. Para as pontas de menor vazão do modelo 01 e 015, operar com pressão menor resulta em menor coeficiente de variação. Já para a ponta 03, no presente ensaio, as melhores condições são a 400 kPa e 0,5m de altura.

O incremento de pressão de trabalho promoveu aumento da depressão da zona central do perfil de distribuição de gotas.

Algumas pontas avaliadas apresentaram desuniformidade na distribuição volumétrica, com coeficientes de variação superiores a 25%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL HEIDARY, M. *et al.* Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection, Amsterdam**, v. 63, p. 120–130, set. 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E641-01**: Standard Methods for Testing Hydraulic Spray Nozzles Used in Agriculture. West Conshohocken, PA, USA. 2012. 6 p.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**, Rondonópolis, n.13, p. 299-315, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R. **Avaliação de sistemas de injeção de defensivos para utilização em agricultura de precisão**. 1999. 83 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.
- ANTUNIASSI, U.R.; BAILO, F.H.R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.174-175.
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. **Aldeia Norte**, Botucatu: FEPAF, 2011. 88p. *Basiléia*, v. 10, n. 2395, p. 1-13, 2020.
- BAESSO, M.M.; TEIXEIRA, M.M.R., R.A.A.; BAESSO, R.C.E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v.61, n. esp., p.780-785, 2014.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 275-284, 2004.
- 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, 2011. cap.3, p.51-82
- BOZOLI, G. A. **Manejo de aplicação de defensivo agrícola com o uso da técnica de pulverização por diâmetro médio volumétrico-DMV**.
- CÂMARA, F. T. *et al.* Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, 2008
- CONTIERO, Robinson Luiz; BIFFE, Denis Fernando; CATAPAN, Valdenir. **Tecnologia de aplicação**. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.
- CUNHA, J.P.A. Análise da distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, Pará, v.31, n.1, p.233- 239, 2007.
- CUNHA, J. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial

hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

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

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues da; TEIXEIRA, Mauri Martins; VIEIRA, Rogério Faria. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1069-1074, 2005

DA CUNHA, João Paulo A. Rodrigues; RUAS, Renato AA; TEIXEIRA, Mauri M. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar analisada em mesa de prova e simulação computadorizada. **Ceres**, v. 54, n. 311, 2007.

DA VITÓRIA, Edney Leandro *et al.* Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de jato cônico vazio DDC2 novas e usadas. **Revista Agro@ mbiente on-Line**, v. 8, n. 3, p. 368-376, 2014.

FERRER, Pablo Gustavo Silva *et al.* **Sistema de apoio à decisão em tecnologia de aplicação de precisão (SISD-TAP) para a otimização da gestão de legislação nas culturas**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria

GANDOLFO, M. A.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 474-480, 2013.

GRIESANG, Fabiano *et al.* How much do adjuvant and nozzles models reduce the spraying drift? Drift in agricultural spraying. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 11, p. 2785-2794, 2017.

ISO – **International Organization for Standardization. equipment for crop protection- Spraying equipment** – Part 2: test methods for agricultural sprayers. Geneva, ISO, 1986. 5p. (ISO 5682/2)

KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science, Hoboken**, v. 67, n. 5, p. 586-598, 2011.

LODWIK, D.; PIETRZYK J.; MALESA, W. Analysis of volume distribution and evaluation of the spraying spectrum in terms of spraying quality. **Applied Sciences**, Basiléia, v. 10, n. 2395, p. 1-13, 2020

MARANGONI JUNIOR, A. **Influência da pressão e da ponta de pulverização na distribuição de caldas em pulverizadores costais manuais**. 2018. 30 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

MILLER, P.C.H. **Spray drift and its measurement**. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. Application technology for crop protection. Trowbridge: CAB International, 1993. p. 101-122.

- MILLER, P. C. H. **Reducing the risk of drift from boom sprayers**. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. *Qualidade em tecnologia de aplicação* Botucatu: Fepaf, 2004. p. 110-124.
- MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, London, v. 75, p. 127-137, 2000
- NEGRISOLI, M. M. **Otimização da pulverização e controle de Phakopsora pachyrhizi na cultura da soja**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) precisão (SISD-TAP) para otimização da gestão de pragas nas culturas. 2014.
- SANTOS, J. M. F. Aspectos críticos na aplicação de defensivos agrícolas. In: **Anais do XIII Reunião Itinerantes de Fitossanidade do Instituto Biológico**. p.108-128, 2005.
- SASAKI, Robson Shigueaki et al. **Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulica em diferentes condições operacionais**. 2011.
- SIQUEIRA, José Luiz; ANTUNIASSI, Ulisses Rocha. Inspeção periódica de pulverizadores nas principais regiões de produção de soja no Brasil. **Energia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 92-100, 2011.
- SUMNER, P. E. **Reducing spray drift Georgia**: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005).
- GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 5183-5193, 2005.
- UNE-EN. Maquinaria agrícola y forestal – Pulverizadores y distribuidores de fertilizantes líquidos. **Protección medioambiental**. Parte 2: Pulverizadores hidráulicos de barras para cultivos bajos. 2002. (UNE-EN 12761-2:2002)
- VIANA, R. G. *et al.* Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, v. 28, p. 439-446, 2010
- WOLF, R. E. Strategies to reduce spray drift. Kansas state university extension service. Publication MF-2441. In: **ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress**, Chicago, Illinois, USA. 2000.