

LARYSSA MOREIRA BERNARDES

**ESPECTRO DE GOTAS E ÂNGULOS DE ABERTURA DOS JATOS DE PONTAS
DE PULVERIZAÇÃO TURBO TEEJET INDUCTION (TTI) EM FUNÇÃO DE
CALDAS E DA PRESSÃO DE TRABALHO**

Botucatu

2024

LARYSSA MOREIRA BERNARDES

**ESPECTRO DE GOTAS E ÂNGULOS DE ABERTURA DOS JATOS DE PONTAS
DE PULVERIZAÇÃO TURBO TEEJET INDUCTION (TTI) EM FUNÇÃO DE
CALDAS E DA PRESSÃO DE TRABALHO**

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

Botucatu

2024

B522e	<p>Bernardes, Laryssa Moreira</p> <p>Espectro de gotas e ângulos de abertura dos jatos de pontas de pulverização turbo Teejet Induction (TTI) em função de caldas e da pressão de trabalho / Laryssa Moreira Bernardes. -- Botucatu, 2025</p> <p>100 p. : il., tabs., fotos</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi</p> <p>1. Pressão de trabalho. 2. Adjuvantes. 3. Tecnologia de aplicação. 4. Espectro de gotas. 5. Ângulo de pulverização. I. Título.</p>
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

ESPECTRO DE GOTAS E ÂNGULOS DE ABERTURA DOS JATOS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO TURBO TEEJET INDUCTION (TTI) EM FUNÇÃO DE CALDAS E DA PRESSÃO DE TRABALHO

AUTORA: LARYSSA MOREIRA BERNARDES

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. WALTER BOLLER (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola / Universidade de Passo Fundo

Pesquisador Dr. ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA (Participação Virtual)
/ AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Pesquisador Dr. RODOLFO GLAUBER CHECHETTO (Participação Virtual)
/ AgroEfetiva Serviços SS Ltda.

Botucatu, 12 de março de 2024.

A Deus por me proteger e amar.
A Jesus por ser meu melhor amigo,
Aos meus pais Regimar e Gilmar,
Ao meu irmão Gilmar Junior,
Aos meus familiares,
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Jesus, por todo amor e cuidado, me sustentou em todos os momentos, enxugou minhas lágrimas, fortaleceu-me e abraçou-me no tempo mais difícil, protegeu-me em diversos momentos, e deu-me os melhores sorrisos ao longo do doutorado, e cumpriu todas as promessas feitas até aqui. Toda honra e glória a Ele.

Aos meus pais e toda minha família, pelo apoio incondicional e pelas palavras que me ajudaram a não desistir ao longo da minha caminhada.

Ao Prof. Dr. Ulisses, pela orientação, oportunidades, ensinamentos, paciência e exemplo de pessoa, profissional e professor.

A todo o pessoal da AgroEfetiva, pelos ensinamentos e oportunidades de aprendizado em diversos trabalhos, assim como pela oportunidade de participar do projeto de pesquisa que gerou os dados utilizados neste trabalho.

À Bayer, pela oportunidade e apoio a este projeto de pesquisa.

Ao Dante, Andreia, Daniela, Patrícia, Jeisiane que me auxiliaram e ajudaram em todos os momentos que precisei.

Aos meus colegas de laboratório Matheus, Lucas, Gabriela, Larissa, Vicente, Gustavo, Gabriel, Michael, Advair, Ariane Moniz, Vitor Romani, Vitor, Mateus Queiroz, Márcio, Gleica, e a todos os estagiários do laboratório, por todo compartilhamento de conhecimento, ensinamentos e companheirismo ao longo dos anos.

Aos meus amigos Renan, Kelvin, Cristiane, Brunna, Pamela, Welen que me ajudaram e proporcionaram vários momentos de companheirismo e alegria.

Ao meu pastor Jonatas e sua esposa Edleia, por todo amor, carinho e sabedoria compartilhadas e por todas as orações e intercessões pela minha vida.

A todos os produtores, operários, aplicadores, Ats, RTVs e promotores que tive oportunidade de conhecer ao longo do doutorado, foi um grande aprendizado com todos.

A todos os professores e funcionários da FCA.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa de doutorado.

À Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF), pelo suporte e auxílio em vários momentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

“A quem Deus se revela? A verdade é que Deus revela muito mais sobre si mesmo a determinadas pessoas do que a outras, não porque tenha os seus “favoritos”, mas porque Ihe é impossível mostrar-se a alguém cuja mente e caráter Ihe sejam inteiramente adversos. É como a luz do sol que, não pode refletir-se num espelho coberto de pó com a mesma luminosidade com que se reflete num espelho limpo.”

“Cada vez que você faz uma opção está transformando sua essência em alguma coisa um pouco diferente do que era antes.”

Clive Staples Lewis (C. S. Lewis)

RESUMO

No intuito de otimizar a técnica de aplicações do herbicida dicamba este trabalho teve por objetivo determinar a interferência de diferentes adjuvantes redutores de deriva e pressões de pulverização no espectro de gotas e no ângulo do jato gerado pela ponta de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI), em cinco vazões distintas, na pulverização de caldas contendo uma mistura de dicamba e glifosate. Para isso, dois experimentos foram conduzidos com a ponta de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI) nas vazões ISO 015, 02, 03, 04 e 05, todas no ângulo de 110°. As pressões de trabalho foram 1; 1,5; 2; 4; 7 bar. A taxa de aplicação escolhida para o preparo das caldas foi de 110 L ha⁻¹. As doses utilizadas nos tratamentos foram de 1,5 L p.c. ha⁻¹ para o Herbicidas Dicamax (D) e 3,0 L p.c. ha⁻¹ Roundup Transorb R. No caso dos adjuvantes foram identificados com códigos numéricos, nas doses 1,61 L ha⁻¹ para o adjuvante 32, 0,75% v v⁻¹ para o adjuvante 21; 0,60% para o adjuvante 02; 0,10% para o adjuvante 10. O adjuvante 31 foi adicionado em uma concentração fixa de 0,5% v v⁻¹ nas caldas elaboradas com os adjuvantes redutores de deriva 02, 10, 21. O delineamento escolhido foi o inteiramente casualizado com três repetições. Para o primeiro experimento, as caldas foram formuladas com água deionizada. O espectro de gotas foi analisado por um analisador de partículas em tempo real posicionado abaixo do simulador de pulverização. As variáveis analisadas foram o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a porcentagem em volume composta por gotas menores que 150 µm (V150) e a amplitude relativa (AR). As amostras foram coletas em laboratório, com monitoramento das condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar). Os dados foram submetidos à análise de regressão para ajuste do modelo matemático que melhor explica os resultados (DMV, V150 e AR) em função das variações das concentrações recomendadas dos adjuvantes nas caldas. No segundo experimento, as caldas foram formuladas com água deionizada à temperatura ambiente com corante azul brilhante FCF, marca Sensient Colors/USA. Para mensuração do ângulo de abertura do jato de pulverização as imagens capturadas foram submetidas ao programa computacional Image J. Os dados foram submetidos à análise de variância para identificação da interação entre os fatores pressão e composição da calda. No primeiro experimento as caldas de dicamba e glifosate que continham os adjuvantes 21 ou 02 foram as que sofreram maiores interferência da pressão em relação a variação de DMV, AR e V150. As caldas de

herbicidas sem adjuvante ou com adjuvante 10 indicaram que o DMV foi menos afetado pela pressão em relação aos demais. O adjuvante 32 se destacou em relação a geração de gotas grossas e pela segurança das aplicações. No segundo experimento a análise de variância indicou que em todos os tratamentos houve um impacto estatisticamente significativo no ângulo de abertura do jato da ponta TTI. A interação entre calda e pressão indicou que a combinação desses fatores influencia nas características do ângulo de abertura dos jatos da ponta TTI. Portanto, concluiu-se que a escolha do adjuvante e a pressão de pulverização exercem influência significativa no espectro de gotas e no ângulo de abertura do jato da ponta TTI. O adjuvante 32 se destacou em relação aos outros tratamentos.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; pontas de pulverização; adjuvantes.

ABSTRACT

In order to optimize the technique of applying the herbicide dicamba, this study aimed to determine the interference of different drift-reducing adjuvants and spray pressures on the droplet spectrum and spray angle generated by the Turbo TeeJet Induction (TTI) nozzle, across five different flow rates, in the spraying of solutions containing a mixture of dicamba and glyphosate. Two experiments were conducted using the Turbo TeeJet Induction (TTI) nozzle at flow rates ISO 015, 02, 03, 04, and 05, all at a 110° angle. The working pressures were 1, 1.5, 2, 4, and 7 bar. The application rate chosen for preparing the solutions was 110 L ha⁻¹. The doses used in the treatments were 1.5 L commercial product p.c. ha⁻¹ for the herbicide Dicamax (D) and 3.0 L p.c. ha⁻¹ for Roundup Transorb R. In the case of the adjuvants, they were identified with numerical codes, at doses of 1.61 L ha⁻¹ for adjuvant 32, 0.75% for adjuvant 21, 0.60% for adjuvant 02, and 0.10% for adjuvant 10. The adjuvant 31 was added at a fixed concentration of 0.5% v v⁻¹ in the solutions prepared with drift-reducing adjuvants 02, 10, and 21. The experimental design was completely randomized with three replications. For the first experiment, the solutions were formulated with deionized water. The droplet spectrum was analyzed using a real-time particle analyzer positioned below the spray simulator. The analyzed variables were the median volumetric diameter (MVD), the percentage by volume composed of droplets smaller than 150 µm (V150), and the relative amplitude (RA). Samples were collected in the laboratory, with monitoring of environmental conditions (temperature and relative humidity). The data were subjected to regression analysis to fit the mathematical model that best explains the results (MVD, V150, and RA) as a function of the variations in the recommended concentrations of the adjuvants in the solutions. In the second experiment, the solutions were formulated with deionized water at room temperature and with Brilliant Blue FCF dye, Sensient Colors/USA brand. To measure the spray angle, the captured images were processed using the Image J software. The data were analyzed by variance to identify the interaction between the pressure and the solution composition factors. In the first experiment, the solutions of dicamba and glyphosate that contained adjuvants 21 or 02 experienced the greatest interference from pressure regarding the variations in MVD, RA, and V150. The herbicide solutions without adjuvants or with adjuvant 10 indicated that the MVD was less affected by pressure compared to the others. Adjuvant 32 stood out in generating coarse droplets and

ensuring application safety. In the second experiment, the variance analysis indicated that all treatments had a statistically significant impact on the spray angle of the TTI nozzle. The interaction between the solution and pressure showed that the combination of these factors influenced the characteristics of the spray angle of the TTI nozzles. Therefore, it is concluded that the choice of adjuvant and spray pressure exert a significant influence on the droplet spectrum and the spray angle of the TTI nozzle. Adjuvant 32 stood out compared to the other treatments.

Keywords: application technology; spray nozzles; adjuvants.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	A importância da Tecnologia de aplicação no controle de plantas daninhas.....	18
2.2	Interação entre Pontas de Pulverização e Pressão no Espectro de gotas.....	22
2.3	Uso de Adjuvantes na Agricultura: Importância e Efeitos na Aplicação de Defensivos Agrícolas.....	24
2.4	Peculiaridades do Dicamba no Controle de Plantas Daninhas.....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Local.....	32
3.2	Sistema de Pulverização.....	32
3.3	Experimento 1.....	33
3.3.1	Avaliação do espectro de gotas.....	34
3.3.2	Delineamento Experimental e Avaliações.....	36
3.3.3	Análise estatística.....	40
3.4	Experimento 2.....	42
3.4.1	Delineamento Experimental e avaliação da abertura do ângulo.....	42
3.4.2	Análise estatística.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Resultados Experimento 1.....	47
4.1.1	Diâmetro mediano volumétrico (DMV).....	47
4.1.2	Percentual do volume de gotas do que 150 µm (V150).....	55
4.1.3	Amplitude relativa (AR).....	62
4.2	Discussão Experimento 1.....	68
4.3	Resultados Experimento 2.....	71
4.4	Discussão Experimento 2.....	89
5	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas possuem uma grande variabilidade genética, o que lhes confere sobrevivência e adaptabilidade a diferentes condições ambientais e sistemas produtivos. A aplicação sequencial de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tem levado à seleção de biótipos resistentes.

O dicamba é um herbicida eficaz no controle de dicotiledôneas, especialmente aquelas de folha larga resistentes ao glifosato. Recentemente, novas formulações de dicamba foram desenvolvidas para minimizar os problemas de volatilização e permitir sua aplicação em pós-emergência. Essas formulações frequentemente incluem adjuvantes e, ocasionalmente, glifosato, e podem alterar as características físico-químicas da solução de pulverização.

Os adjuvantes desempenham um papel importante tanto durante quanto após a aplicação. Contudo, é essencial compreender como cada adjuvante pode melhorar a solução de pulverização e a eficácia do controle das plantas daninhas. Alguns adjuvantes podem alterar o ângulo de abertura do jato pulverizado e, conseqüentemente, afetar o espaçamento entre as pontas e a altura da barra de pulverização. Pontas com ângulo de aplicação menor geram gotas maiores.

Para aplicações com dicamba, é fundamental utilizar pontas com indução de ar que produzam gotas grossas a ultra-grossas. A combinação de adjuvantes com essas pontas pode melhorar a retenção das gotas, aumentar seu tamanho e reduzir a quantidade de gotas finas, que são mais suscetíveis ao deslocamento pelo vento.

Este trabalho teve por objetivo determinar a interferência de diferentes adjuvantes redutores de deriva e pressões de pulverização no espectro de gotas e no ângulo do jato gerado pela ponta de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI), em cinco vazões distintas, na pulverização de caldas contendo uma mistura de dicamba e glifosate.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância da Tecnologia de aplicação no controle de plantas daninhas

Controlar plantas daninhas com herbicidas é o método mais eficiente e econômico, especialmente em grandes áreas de cultivo (Ciuberkis *et al.*, 2010). Uma estratégia eficaz para prevenir e gerenciar plantas daninhas resistentes é o uso de herbicidas com diferentes modos de ação (Werle *et al.*, 2018).

Além disso, a adoção das novas culturas tolerantes ao dicamba e ao glifosato e o aumento do uso de dicamba destacam a necessidade de estratégias contínuas e inovadoras para enfrentar a resistência das plantas daninhas (Ferreira *et al.*, 2020). O crescimento da resistência das plantas daninhas a herbicidas, como o glifosato, demanda a implementação de práticas de manejo integrado que combinem diversos métodos de controle e tecnologias avançadas (Werle *et al.*, 2018).

A resistência crescente das plantas daninhas representa um desafio significativo para a agricultura moderna, e a integração de culturas tolerantes a herbicidas com estratégias de manejo integrado é crucial para manter a produtividade e minimizar os impactos ambientais (Mattuo, 1990; Antuniassi *et al.*, 2019).

Em 2017, os Estados Unidos implementaram uma inovação significativa no setor agrícola com o lançamento de culturas geneticamente modificadas para serem tolerantes tanto ao dicamba quanto ao glifosato. Essas culturas foram desenvolvidas para permitir a aplicação simultânea dos dois herbicidas em cultivos pós-emergência. Essa abordagem representou uma nova estratégia para o manejo de plantas daninhas, especialmente aquelas que se tornaram resistentes ao glifosato, um problema crescente em muitas regiões agrícolas (Epa, 2020).

A introdução dessas culturas teve um impacto notável no uso do dicamba. Neste mesmo ano, nos Estados Unidos observou-se um aumento de 225% no uso desse herbicida em comparação com o ano anterior (Epa, 2020; Ferreira *et al.*, 2020). Esse aumento significativo reflete a eficácia do dicamba no controle de dicotiledôneas de folha larga, particularmente aquelas que já haviam desenvolvido resistência ao glifosato. O sucesso do dicamba em controlar essas plantas daninhas resistentes demonstra a importância de ter múltiplos mecanismos de ação disponíveis para o manejo integrado de plantas daninhas (Ferreira *et al.*, 2020).

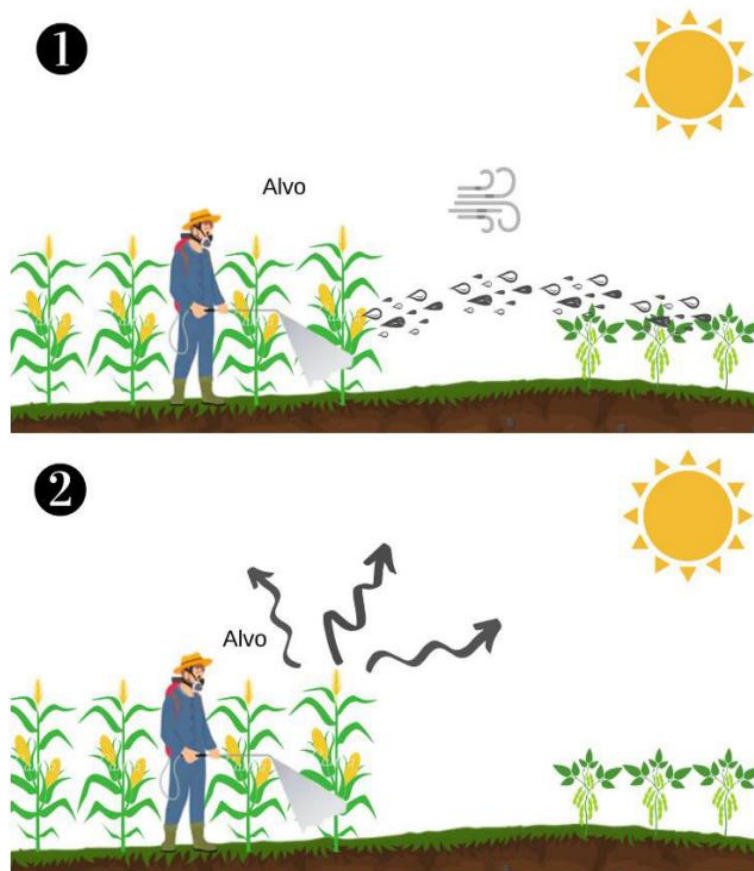
Além disso, a adoção dessas novas culturas e a ampliação do uso de dicamba destacam a necessidade de estratégias contínuas e inovadoras para lidar com a

resistência das plantas daninhas. A resistência crescente das plantas daninhas representa um desafio significativo para a agricultura moderna, e a combinação de culturas tolerantes a herbicidas com estratégias de manejo integrado é crucial para manter a produtividade e minimizar os impactos ambientais. No entanto, o uso inadequado dessas ferramentas pode causar sérios problemas de contaminação ambiental e riscos à saúde humana, afetando a economia e a eficácia do tratamento. Portanto, a tecnologia de aplicação é crucial, pois visa garantir a deposição adequada de defensivos agrícolas no alvo, usando doses apropriadas para um controle eficiente, econômico e seguro, minimizando impactos ambientais (Mattuo, 1990; Antuniassi *et al.*, 2019).

Fatores como condições meteorológicas e aspectos da tecnologia de aplicação são importantes, especialmente para a penetração da calda no dossel da cultura e para a redução da deriva (Antuniassi; Boller, 2011). Apenas uma parte do produto aplicado atinge o alvo, e parte da aplicação pode não atingir a superfície abaxial das folhas. A eficácia do defensivo agrícola depende da sua redistribuição após a aplicação, que pode ocorrer através do contato direto ou da translocação sistêmica do ponto de absorção até o sítio de ação (Chaim, 2006; Gomes, 2021).

Para garantir uma deposição correta das gotas no alvo, é essencial conhecer os fatores envolvidos na aplicação e integrar as técnicas apropriadas para cada situação (Chechetto, 2015; Moniz, 2020). As características dos pulverizadores, a taxa de aplicação, a morfologia da planta (como pilosidade e cerosidade), a arquitetura da planta, a altura da cultura, o estágio de desenvolvimento, as condições meteorológicas, a velocidade do vento e a evaporação podem influenciar a perda e a deposição dos produtos (Campos, 2019).

O uso de um herbicida sem a técnica adequada pode resultar em deriva, que é o desvio das gotas da trajetória desejada, impedindo-as de atingir o alvo (Figura 1). A deriva está relacionada ao tamanho das gotas e à velocidade do vento (Langaro *et al.*, 2014) (Figura 1). As gotas podem ser carregadas por condições de inversão térmica, variações de vento e mudanças na luminosidade, atingindo culturas adjacentes. É possível observar sintomas de danos causados pela deriva de herbicidas a uma distância considerável do local de aplicação (Yates *et al.*, 1985; Campos, 2019).

Figura 1 - Dinâmica de deriva de herbicida por partícula (1) e vapor (2)

Fonte: Weed Out (2020).

Em aplicações de herbicidas, gotas maiores têm um menor potencial de serem deslocadas do alvo e de sofrer evaporação (Spillman, 1984; Moreira, 2020). As pontas de pulverização podem gerar gotas de diferentes tamanhos, configurando um espectro que pode ser avaliado por parâmetros como o Diâmetro Mediano Numérico (DMN), o Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) e a Amplitude Relativa (AR) (Mota, 2013). O tamanho das gotas é medido em micrômetros (μm) (Nuyttens *et al.*, 2007).

O DMN representa o diâmetro das gotas que divide o número total em duas partes iguais, com 50% das gotas sendo menores e 50% maiores (Chechetto; Antuniassi, 2012). O DMV, por sua vez, é o diâmetro que divide o volume total de gotas pulverizadas em duas partes iguais, sendo a soma do volume das gotas maiores equivalente à soma do volume das gotas menores (Antuniassi; Baio, 2011). A Amplitude Relativa indica a homogeneidade do espectro pulverizado, é maior quanto menor a uniformidade do espectro de gotas (Cunha *et al.*, 2003).

Pesquisas indicam que o tamanho de gotas de 395 μm proporcionou um controle mais eficaz de plantas daninhas com dicamba, em comparação com outros tamanhos (Butts *et al.*, 2019). Contudo, gotas com tamanhos próximos a 620 μm foram associadas a uma redução na deriva e a um controle de plantas daninhas superior a 90% (Butts *et al.*, 2019).

Estudos demonstram que aplicações de dicamba utilizando pontas com indução de ar resultaram em apenas 0,3% de gotas finas deriváveis (<100 μm), em contraste com 19% de gotas finas deriváveis quando se utilizaram pontas de jato plano convencional (leque). Assim, para o uso de dicamba, é recomendável a utilização de pontas que produzam um espectro de gotas ultra-grossas ou equivalente (Riter *et al.*, 2021).

Diversos fatores influenciam o espectro de gotas durante uma aplicação, incluindo o tipo de ponta de pulverização, a pressão de trabalho e as propriedades físicas e químicas da calda (Butts *et al.*, 2019). Pontas com indução de ar são frequentemente empregadas para reduzir a deriva. Estas pontas operam segundo o princípio do tubo Venturi, onde o diâmetro do orifício de entrada é menor que o da mangueira que conduz a calda. A calda, ao entrar na ponta sob pressão, aumenta sua velocidade e reduz a pressão interna, fazendo com que o ar seja sugado através de orifícios laterais para dentro da ponta. A mistura de calda e ar forma bolhas e, sob pressão, é fracionada em gotas contendo ar (Faggion, 2002; Butts *et al.*, 2019).

De acordo com Butler Ellis *et al.* (2001), o diâmetro do orifício de entrada regula o fluxo, enquanto o diâmetro do orifício de saída influencia o tamanho das gotas, independentemente da vazão da ponta. Gotas que contêm ar apresentam características alteradas, como maior retenção e molhabilidade semelhantes às gotas finas (Butler Ellis *et al.*, 2001; Butts *et al.*, 2019).

Além dos fatores mencionados, a pressão de trabalho, a altura da barra de pulverização e o volume de calda são elementos cruciais que influenciam a eficiência e a uniformidade da aplicação de herbicidas. Cada um desses parâmetros desempenha um papel significativo na forma como o defensivo agrícola é conduzido e distribuído, impactando diretamente seu modo de ação na planta (Moreira, 2020).

A pressão de trabalho é um fator determinante na geração do tamanho e da qualidade das gotas pulverizadas. Pressões mais altas geralmente resultam em gotas menores e maior potencial para deriva, enquanto pressões mais baixas tendem a produzir gotas maiores, com menor propensão a serem transportadas pelo vento e a

evaporarem. No entanto, gotas maiores podem resultar em uma cobertura menos uniforme das superfícies alvo (Goss, 2009; Zink *et al.*, 2020).

A altura da barra de pulverização também influencia a cobertura e a distribuição da calda. Uma altura inadequada pode levar a uma distribuição desigual, com áreas da planta recebendo mais ou menos aplicação do que outras. Alturas maiores podem aumentar a chance de deriva e reduzir a precisão da aplicação, enquanto alturas muito baixas podem resultar em aplicação excessiva em áreas específicas, causando fitotoxicidade. A altura ideal deve ser ajustada conforme o tipo de cultura e as condições ambientais para garantir uma cobertura adequada e minimizar perdas (Bouse *et al.*, 1990; Cordon *et al.*, 2016).

O volume de calda aplicado afeta a quantidade de defensivo agrícola depositado sobre a superfície alvo. Volumes maiores geralmente proporcionam melhor cobertura e penetração na cultura, o que é crucial para o controle efetivo das plantas daninhas. No entanto, um volume excessivo pode resultar em desperdício e problemas ambientais, enquanto um volume insuficiente pode levar a uma cobertura inadequada e à redução da eficácia do controle (Hartzler *et al.*, 2017; Zeng *et al.*, 2019).

A formulação e a concentração do herbicida também desempenham um papel importante na eficácia da aplicação podem afetar o espectro de gotas e o potencial de deriva (Riter, *et al.*, 2021). A combinação desses fatores deve ser cuidadosamente considerada para otimizar a eficácia dos herbicidas e garantir que o modo de ação desejado seja alcançado na planta alvo. Ajustes apropriados na pressão de trabalho, altura da barra e volume de calda são essenciais para maximizar a eficiência da aplicação, minimizar o impacto ambiental e garantir um controle eficaz das plantas daninhas (Goss, 2009; Moreira, 2020).

2.2 Interação entre Pontas de Pulverização e Pressão no Espectro de Gotas.

A escolha e o uso adequado das pontas de pulverização são etapas decisivas para aprimorar a precisão e a segurança na aplicação de produtos fitossanitários (Womac *et al.*, 1997). O conhecimento das condições de trabalho e, especialmente, do desempenho das pontas de pulverização são fundamentais para garantir uma aplicação adequada e eficiente (Christofolletti, 1999). Segundo Johnson; Swetnam (1996), a seleção apropriada das pontas de pulverização é essencial para a aplicação

de defensivos, sendo o principal fator que determina a quantidade aplicada por área, a uniformidade da aplicação, a cobertura obtida e o risco potencial de deriva.

A influência da pressão é crucial. Pressões mais altas produzem uma maior proporção do volume total de gotas com DMV inferior a um determinado valor (Nuyttens *et al.*, 2007). Do ponto de vista prático, a redução do tamanho das gotas pode resultar em melhor cobertura das folhas, melhorando o desempenho fitossanitário do tratamento. No entanto, uma maior porcentagem de gotas inferiores a 100 μm (V100) pode aumentar o risco de deriva, além de tornar as gotas mais suscetíveis à evaporação em altas temperaturas.

A calda, sob uma determinada pressão, passa pelo orifício de saída, formando um filme líquido instável que se desintegra em gotas de diferentes tamanhos. A pressão na calda afeta a taxa de fluxo do líquido, que, por sua vez, determina a velocidade do líquido. A redução no tamanho das gotas com uma pressão mais alta ocorre devido ao aumento na velocidade do líquido durante a emissão pelo orifício do bico (Privitera *et al.*, 2023). Tanto o orifício de saída quanto a pressão exercida na calda determinam a vazão. Orifícios maiores resultam em vazões e gotas maiores do que as pontas com orifícios menores.

Quanto maior a vazão (ISO), maior é o diâmetro das gotas pulverizadas. Além disso, os espectros de gotas e as velocidades das gotas são correlacionados; em geral, gotas maiores correspondem a velocidades mais altas (Privitera *et al.*, 2023). Por exemplo, pontas de jato plano antideriva geralmente produzem gotas mais rápidas em comparação com pontas de jato plano padrão para a mesma pressão e vazão. Para pontas com indução de ar, as velocidades das gotas são menores do que o esperado, principalmente devido à pressão gerada por uma combinação do efeito Venturi e do pré-orifício (Combella *et al.*, 2002).

De acordo com o catálogo de pontas, cada modelo de ponta de pulverização possui uma faixa ideal de pressão de trabalho, que produz um determinado tipo de espectro de gotas. Na maioria das pontas utilizadas em pulverizadores de barras, essa pressão mínima é de cerca de 100 kPa ou mais, sendo normal uma pressão de 200 kPa ou mais para obter uma abertura do jato adequada. Existem tipos de pontas que operam com pressões entre 1000 a 2000 kPa sem comprometer a aplicação (Rodrigues, 2005).

A pressão de operação para a ponta Turbo TeeJet Induction (TTI) é de pelo menos 3 bar (45 PSI) quando o controle de deriva é crítico, mas pressões maiores, de 4 a 7 e até mesmo 8 bar, podem ser utilizadas para aumentar o efeito químico (Teejet, 2024).

2.3 Uso de Adjuvantes na Agricultura: Importância e Efeitos na Aplicação de Defensivos Agrícolas

Os adjuvantes desempenham um papel crucial na aplicação de defensivos agrícolas, influenciando tanto o espectro de gotas quanto o ângulo do jato de pulverização. Sua adição à calda de pulverização modifica características físico-químicas, impactando a eficácia dos tratamentos fitossanitários e a dispersão da pulverização (Cunha *et al.*, 2009; Cunha *et al.*, 2010). A tensão superficial das gotas é igualmente afetada; valores elevados de tensão superficial requerem maior força para a quebra das gotas durante a pulverização (Mota; Antuniassi, 2013).

A inclusão de adjuvantes resulta em um aumento do efeito de espalhamento das gotas ao se depositarem sobre o alvo (Yu *et al.*, 2009). Granato *et al.* (2009) observaram que o uso de adjuvantes promove variações na densidade das gotas, reduzindo o risco de deriva e perdas por evaporação, ao mesmo tempo em que aumenta a deposição da calda em alvos artificiais. A presença de adjuvantes também está associada a uma diminuição da porcentagem de gotas extremamente finas e a um aumento do diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas (Santos, 2007).

Adjuvantes à base de polímeros e polissacarídeos são particularmente eficazes como redutores de deriva, uma vez que promovem alterações físicas na calda e no filme líquido, reduzindo a formação de gotas muito finas (Bauer *et al.*, 2006; Raetano; Chechetto, 2019). A redução na porcentagem de gotas finas, aliada ao aumento do DMV, constitui uma estratégia eficaz para minimizar a deriva (Christofolletti, 1999).

Óleos e surfactantes também atuam como redutores de deriva. O óleo vegetal, por exemplo, eleva a tensão superficial e a viscosidade da calda, dificultando sua desintegração em gotas pela ponta de pulverização (Thebaldi *et al.*, 2009). Miller e Butler Ellis (2000) demonstraram que a utilização de surfactantes, combinada com pontas de indução de ar, resulta em um aumento do DMV, minimizando perdas, embora a troca do tipo de ponta possa comprometer a eficácia no controle de deriva.

Além disso, a adição de adjuvantes provoca um aumento no ângulo de abertura do jato pulverizado e no espaçamento máximo entre as pontas na barra de pulverização, resultando em uma maior área tratada (Soares; Ferreira, 2013). Essas alterações corroboram a influência dos adjuvantes nas características físico-químicas da calda (Cunha; Alves, 2009).

O uso de adjuvantes na agricultura é reconhecido como uma prática vantajosa, oferecendo numerosos benefícios aos produtos fitossanitários. Contudo, essa prática pode gerar controvérsias, associadas a fatores como uso inadequado, não conformidade com a legislação e falta de entendimento sobre as interações entre adjuvantes e ingredientes ativos. Apesar disso, os benefícios dos adjuvantes estão sendo cada vez mais reconhecidos, refletindo um aumento na disponibilidade de produtos comerciais no mercado (Bacchi; Siqueira, 2018).

Conforme a legislação brasileira, o Artigo 1º do Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, considera adjuvante o produto agregado aos fitossanitários formulados para aplicação, enquanto o aditivo é um produto utilizado na fabricação ou formulação desses produtos (Raetano; Chechetto, 2019).

A atividade biológica dos produtos fitossanitários é influenciada por variáveis como pH, estabilidade da calda, solubilidade, formação de espumas, tensão superficial e tamanho das gotas. Os adjuvantes atuam como ferramentas auxiliares que ajudam a controlar esses aspectos. Eles podem ser classificados conforme sua função: antiespumantes, penetrantes, condicionadores de calda, umectantes, adesivos, sequestrantes, protetores, redutores de deriva e tamponantes (Antuniassi *et al.*, 2019).

As interações entre os adjuvantes podem alterar as propriedades físico-químicas das caldas (Cunha *et al.*, 2017), modificando a distribuição do tamanho das gotas, influenciando a tensão superficial e a viscosidade, além de impactar a dinâmica de atomização (Cunha, 2010). Misturas de calda contendo adjuvantes podem modificar a condutividade elétrica e o pH, afetando os resultados da pulverização e acelerando a degradação dos produtos fitossanitários, além de influenciar a absorção pelos tecidos vegetais (Kissmann, 1997; Cunha *et al.*, 2017).

A adição de adjuvantes a herbicidas tem demonstrado aumentar a eficácia do produto, especialmente contra plantas daninhas de folhas largas (Abouzienna *et al.*, 2009). Alterações nas características como densidade, DMV e viscosidade da calda

têm o potencial de diminuir o risco de deriva dos herbicidas (Oliveira *et al.*, 2015) e podem também reduzir perdas por volatilização (Ferreira *et al.*, 2020).

A maioria das novas tecnologias de aplicação visa reduzir a deriva, uma vez que a pulverização com gotas finas tende a aumentar esse fenômeno. Os adjuvantes podem influenciar o tamanho das gotas, com alguns promovendo o aumento do seu tamanho durante a pulverização. Os adjuvantes redutores de deriva foram especificamente desenvolvidos para modificar o espectro de gotas, especialmente em misturas com herbicidas. Contudo, adjuvantes que melhoram a dinâmica das gotas sobre o alvo também podem impactar o espectro de gotas, sendo que gotas com diâmetro inferior a 100 μm são consideradas de alto potencial de deriva (Tu; Randall, 2003).

Bode, Butler e Goering (1976) relataram que adjuvantes redutores de deriva podem reduzir a deriva em 15 a 50% em baixas concentrações e em 70 a 80% em altas concentrações, evidenciando a capacidade dos adjuvantes de aumentar o DMV por meio da alteração da viscosidade da calda. O uso de surfactantes e umectantes pode diminuir a volatilidade do dicamba e aumentar a eficácia do herbicida (Long, 2017).

Estudos indicam que um aumento na penetração do dicamba através da cutícula da folha pode resultar em uma redução da quantidade de herbicida disponível na superfície da folha para volatilização (Long, 2017). Pesquisas documentaram aumentos de 14% e 47% na penetração do glifosato e do 2,4-D, respectivamente, em kochia (*Bassia scoparia* L. AJ Scott) quando aplicados com surfactantes, em comparação aos herbicidas isolados (Portos *et al.*, 2003; Polli *et al.*, 2021). Os surfactantes atuam reduzindo a tensão superficial das gotas de pulverização, aumentando o ângulo de contato entre a gota e a folha, o que melhora a molhabilidade e a penetração (Tu; Randall, 2003).

Os polímeros, por sua vez, ao atuarem como redutores de deriva, influenciam a viscosidade da solução, reduzindo a formação de gotas extremamente finas e aumentando o DMV (Raetano; Chechetto, 2019). Atualmente, uma ampla gama de adjuvantes redutores de deriva está disponível no mercado, a maioria baseada em polímeros, frequentemente referidos como espessantes de pulverização devido à sua alta elasticidade, que prolonga a estabilidade da calda (Mcmullan, 2000; Lewis *et al.*, 2016).

Dentro da categoria de polímeros, encontram-se polímeros sintéticos de cadeia longa, como poliacrilamida (PAM), poliacrilamida hidrolisada (HPAM), poli (óxido de etileno) (PEO) e polímeros de polivinila (Guler *et al.*, 2008). Os polissacarídeos, como goma xantana e goma guar, também são classificados como espessantes de pulverização (Sommerville *et al.*, 2012).

Os polímeros sintéticos de cadeia longa tendem a reduzir mais significativamente as partículas finas do que os polissacarídeos, embora estes últimos apresentem características mais estáveis (Sommerville *et al.*, 2012). Alves *et al.* (2018) observou que adjuvantes à base de polímeros e sulfato de amônio aumentaram o tamanho das gotas em todas as pontas analisadas (XR, TT, AIXR, TTI), sugerindo uma redução nos danos causados pela deriva em culturas adjacentes não tolerantes ao dicamba. Além disso, essa classe de adjuvantes possibilita a diminuição da taxa de evaporação da calda (Antuniassi *et al.*, 2019).

Pesquisas indicam que misturas de calda contendo DGA + glifosato sal de diamônio e DGA + glifato sal de isopropilamina, ambos com a adição de VaporGrip®, reduziram a fitotoxicidade na soja e os valores da área abaixo da curva de fitotoxicidade (Ferreira *et al.*, 2020). No entanto, é fundamental compreender como cada adjuvante pode beneficiar a solução de pulverização ou melhorar a eficiência no controle de plantas daninhas antes de sua utilização (Ferreira *et al.*, 2020).

2.4 Peculiaridades do Dicamba no Controle de Plantas Daninhas

O dicamba, um herbicida sistêmico, pertence ao grupo químico dos mimetizadores de auxina, que simulam hormônios reguladores de crescimento, como o ácido indolacético (AIA) e a auxina (Timmons, 2005; Russell *et al.*, 2020). Esses hormônios, produzidos de forma natural pelas plantas, desempenham papéis fundamentais no crescimento e desenvolvimento radicular, na floração e frutificação, na abscisão foliar, na divisão, crescimento e diferenciação celular, na quebra da dominância apical e no crescimento das gemas axilares (Mercier, 2008; Mundt, 2021).

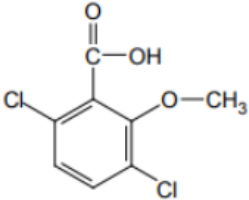
Os herbicidas análogos das auxinas naturais induzem alterações celulares e morfológicas, criando uma condição semelhante à saturação de auxina na planta (Reade; Cobb, 2002; Mundt, 2021). Descoberto pela primeira vez em 1958, o dicamba foi registrado para uso em culturas de monocotiledôneas em 1962 (Timmons, 2005; Russell *et al.*, 2020). É classificado como um herbicida do grupo dos ácidos benzoicos

(ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico), apresentando, em sua forma pura, um sólido cristalino incolor (Harp, 2010). As especificações do herbicida dicamba estão descritas na Tabela 1.

O dicamba é amplamente utilizado no manejo de plantas daninhas em culturas de grãos e cereais, mas também pode ser empregado na manutenção de pastagens, áreas florestais, cercas, faixas de transporte, gramados e campos de golfe (Harp, 2010).

A maioria dos herbicidas mimetizadores de auxinas é ativa na forma ácida, que é mais volátil (Behrens, 1979; Bish *et al.*, 2019). Contudo, eles são frequentemente formulados como ésteres, aminas ou sais para aumentar a absorção pelas plantas (Kruger *et al.*, 2010). O grau de volatilidade desses compostos depende de vários fatores, incluindo a quantidade aplicada, temperatura e umidade atmosférica, formulação química e superfície de aplicação (Nishimura *et al.*, 2015).

Tabela 1 - Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas do herbicida dicamba

Propriedades	Dicamba
Fórmula estrutural	
Fórmula molecular	$C_8H_6Cl_2O_3$
IUPAC nomenclatura	3,6-dichloro-o-anisic acid
Grupo químico	Ácido Benzóico
Peso molecular ($g\ mol^{-1}$)	221,03
Densidade ($g\ mL^{-1}$ a 25 °C)	1,35 - 1,55
Solubilidade em água a 20°C ($mg\ L^{-1}$)	250000 (Alta)
Kow em pH 7,0 a 20 °C	$1,32 \times 10^{-2}$
pKa a 25°C	1,87
Pressão de vapor a 20°C (mPa)	1,67 (baixa volatilidade)
DT50 solo (d)	4 (não-persistente)
Koc ($mL\ g^{-1}$)	2,0
GUS	1,72
Índice de potencial de lixiviação	(baixa lixiviação)

Fonte: Adaptado de Shaner (2014); PPDB (2021).

Existem diversas formulações de dicamba, incluindo sal de dimetilamina (DMA), sal de diglicolamina (DGA) e N,N-bis-(3-aminopropil) metilamina (BAPMA), que se distinguem por seus níveis de volatilidade. Observa-se uma redução significativa na volatilidade do DGA e do BAPMA quando comparados ao DMA (Mueller *et al.*, 2013; Mueller *et al.*, 2019).

Com a comercialização de culturas transgênicas resistentes ao dicamba, novas formulações com volatilidade reduzida foram desenvolvidas. Além disso, um redutor de volatilidade, conhecido como VaporGrip® (ácido acético), foi criado para diminuir

ainda mais o perfil de volatilidade do dicamba (Hemminghaus *et al.*, 2017; Carbonari *et al.*, 2022).

Contudo, a associação do dicamba com adjuvantes redutores de deriva ou com glifosato pode alterar as características físico-químicas da calda de pulverização, exigindo maior atenção durante a aplicação, especialmente em áreas adjacentes a culturas sensíveis (Bish *et al.*, 2019).

O glifosato é frequentemente utilizado em combinação com o dicamba. Essa associação resulta na redução do pH da calda, intensificando a forma ácida do dicamba e, conseqüentemente, aumentando sua volatilização. Isso ocorre porque o glifosato, sendo um ácido fraco, doa íons de hidrogênio a outros compostos (Pereira Neto, 2021).

Além disso, é importante destacar que as formulações de glifosato disponíveis no mercado podem variar. Essas diferenças podem ser atribuídas aos variados pesos moleculares de cada sal, à quantidade de glifosato e à diversidade de adjuvantes utilizados pelos fabricantes (Pereira Neto, 2021). Misturas em tanque com formulações de glifosato contendo sal de potássio são permitidas, pois reduzem o nível de dicamba na forma ácida. Por outro lado, misturas com sais de amina, como dimetilamina (DMA) e isopropilamina (IPA), podem aumentar a volatilidade do dicamba (Riter *et al.*, 2021).

Uma estratégia importante para o manejo de plantas daninhas é a associação entre adjuvantes e dicamba na pulverização agrícola. Esses adjuvantes são frequentemente adicionados ao tanque de pulverização para aprimorar a atividade do herbicida ou as características de aplicação (Curran *et al.*, 1999; Polli *et al.*, 2021).

Alves *et al.* (2018), ao estudarem a deriva e o espectro de gotas do dicamba isolado e em mistura com adjuvantes, observou que o óleo vegetal e a fosfatidilcolina, na mistura com dicamba, diminuem o tamanho das gotas em comparação ao dicamba isolado, quando pulverizados com a ponta TTI. Em contrapartida, o uso de polímeros e sulfato de amônio aumentou o tamanho das gotas para todas as pontas avaliadas (XR - faixa estendida; TT - Turbo Teejet; AIXR - Air - faixa estendida com indução de ar; TTI - Turbo Teejet com indução de ar), o que pode reduzir os danos causados pela deriva em culturas próximas.

Pesquisas que analisaram as propriedades físico-químicas, tamanho das gotas e volatilidade do dicamba em misturas com herbicidas e adjuvantes, revelaram que a mistura contendo dicamba, lecitina, éster metílico de soja e adjuvante álcool etoxilado

(D + F) apresentou as melhores características físico-químicas, considerando pH elevado e valores satisfatórios de condutividade, ângulo de contato e tensão superficial (Ferreira *et al.*, 2020). No entanto, a mistura entre dicamba, glifosato de potássio e lecitina com ácido propiônico (D + R + L) apresentou taxas elevadas de volatilidade e fitotoxicidade para plantas de soja expostas (Ferreira *et al.*, 2020).

As interações entre dicamba, herbicidas e adjuvantes são complexas, específicas para cada caso e dependem de diversos fatores. Nos Estados Unidos, os rótulos do herbicida dicamba aprovados em 2020 exigem o uso de um adjuvante redutor de volatilidade (VRA) em todas as aplicações, além de exigir o cultivo de variedades tolerantes ao dicamba (Riter *et al.*, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), situado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), em Botucatu, São Paulo. Este estudo foi parte de um projeto de pesquisa desenvolvido em colaboração entre a AgroEfetiva, a Bayer CropScience e a Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF).

3.2 Sistema de Pulverização

Os experimentos foram realizados em uma câmara de pulverização, onde os tratamentos foram aplicados conforme as pressões predefinidas. Para o armazenamento e a aplicação das caldas de pulverização, foi utilizado um reservatório de aço inoxidável com capacidade para nove litros. Este reservatório é pressurizado por ar comprimido, permitindo atingir pressões de até 900 kPa. O sistema é equipado com um compressor de ar, um estabilizador de pressão, um porta-pontas modelo Penta Jet da marca TeeJet, que possui uma válvula antigotejo, além de capas, anéis de vedação e filtros de pontas com malha 50. A ponta de pulverização utilizada foi a Turbo TeeJet Induction (TTI).

Adicionalmente, o sistema inclui um manômetro Bourdon D60 de ¼", instalado antes do porta-pontas, para monitorar a pressão de operação. A configuração do sistema de pulverização é ilustrada na Figura 2. Entre cada aplicação de tratamento, o sistema foi cuidadosamente limpo para evitar contaminações cruzadas, e a calibração do equipamento foi verificada mediante a pulverização de água, assegurando a precisão das medições e a eficácia das aplicações.

Figura 2 - Sistema de pulverização



Fonte: AgroEfetiva (2023).

3.3 Experimento 1

O presente experimento teve como objetivo investigar a influência de diferentes adjuvantes, pressão de trabalho e vazão das pontas de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI) na caracterização do espectro de gotas. Para isso, algumas hipóteses foram formuladas, visando responder a questões importantes que influenciam a otimização da aplicação do herbicida dicamba:

- 1- A composição das caldas, especialmente a variação de adjuvantes, provocará alterações significativas no espectro de gotas produzido pelas pontas de pulverização TTI.
- 2- A pressão de trabalho, em conjunto com diferentes vazões das pontas de pulverização TTI, terá um impacto direto no espectro de gotas.

- 3- Mudanças na vazão das pontas de pulverização TTI, quando combinadas com diferentes adjuvantes, podem resultar em interações que influenciam o espectro de gotas.
- 4- Combinações de adjuvantes, pressão de trabalho e vazão proporcionarão um espectro de gotas desejado para diferentes condições agrícolas.

Essas hipóteses orientaram a realização do experimento, as análises estatísticas e as interpretações dos resultados, com o intuito de compreender a interação entre a composição das caldas, pressão de trabalho, vazão das pontas e adjuvantes no espectro de gotas das pontas de pulverização TTI.

3.3.1 Avaliação do espectro de gotas

A determinação do espectro de gotas foi realizada utilizando um sistema de análise de partículas denominado Particle/Droplet Image Analysis (PDIA). Este equipamento é equipado com uma câmera de alta resolução que captura imagens das gotas em movimento no ar, permitindo a análise detalhada de suas características. As imagens capturadas pelo PDIA são transmitidas em tempo real para um computador, onde são processadas por um software especializado. Esse software realiza cálculos precisos do tamanho das gotas, fornecendo dados quantitativos sobre sua distribuição em termos de diâmetro.

O equipamento utilizado para essas análises foi o VisiSize P15, fabricado pela Oxford Lasers (Imaging Division, Oxford, Reino Unido) conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4. O VisiSize P15 é projetado especificamente para medições de partículas em ambientes de pulverização, opera com um sistema de iluminação controlada que maximiza a visibilidade das gotas, facilitando a captura de imagens nítidas. Além disso, o dispositivo permite a análise de diversos parâmetros do espectro de gotas, incluindo o diâmetro médio volumétrico e a distribuição do tamanho das gotas.

Para as análises realizadas, as pontas de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI) (Figura 5) foram dispostas de maneira estática e vertical, com o jato de pulverização orientado para baixo. A posição foi cuidadosamente ajustada para que a ponta estivesse a uma altura de 50 cm do ponto focal do analisador de gotas. Essa configuração é fundamental para garantir que as gotas produzidas pelo jato sejam

capturadas de forma adequada pelo equipamento, permitindo uma análise precisa do espectro de gotas.

A centralização do jato em relação ao ponto focal do analisador é crucial, pois assegura que as imagens capturadas incluam uma amostra representativa das gotas, facilitando a avaliação de seus tamanhos e características. Assim que a pulverização foi acionada, iniciou-se a coleta de dados, com o equipamento registrando o espectro de gotas até um total de 10.000 gotas em cada repetição.

Figura 3 - VisiSize P15, Oxford Lasers



Fonte: Imaging Division, Oxford, Reino Unido (2022).

Figura 4 - VisiSize P15, Oxford Lasers, posicionado no Sistema de pulverização



Fonte: AgroEfetiva (2023).

3.3.2 Delineamento Experimental e Avaliações

O delineamento experimental utilizado para a realização deste estudo foi o inteiramente casualizado. As composições das caldas utilizadas nos tratamentos incluíram dicamba, glifosato e adjuvantes de uso agrícola, estão detalhadas nas Tabelas 2 e 3. A escolha desses herbicidas foi baseada em suas propriedades químicas e na necessidade de avaliar o desempenho da ponta de pulverização em condições reais de aplicação agrícola.

Durante o experimento, as pressões de pulverização avaliadas foram de 1, 1,5, 2, 4 e 7 bar. Essas variações de pressão são essenciais para compreender como diferentes condições operacionais afetam a formação e a distribuição das gotas de pulverização, influenciando diretamente a eficácia da aplicação dos herbicidas. Além disso, a taxa de aplicação selecionada para o preparo das caldas foi de 110 L ha⁻¹. Essa taxa foi escolhida com base nas recomendações para a aplicação de herbicidas.

Tabela 2 – Produtos comerciais utilizados nos tratamentos, (2023)

Produtos	Código
Dicamax	D
Roundup Transorb R	RTR
Adjulock - Brandt	ADJ 02
Aureo - Bayer	ADJ 10
OnSite - Brandt	ADJ 21
Adjuvante codificado Bayer (reductor de volatilidade) MON 51817	ADJ 31
Adjuvante codificado Bayer (reductor de deriva) MON 301471	ADJ 32

Tabela 3 – Herbicidas e adjuvantes avaliados em diferentes tratamentos, (2023)

Código do tratamento	Dose	Funcionalidade dos adjuvantes
D+RTR	1,5 p.c. ha ⁻¹ + 3,0 p.c. ha ⁻¹	-
D+RTR+32	1,5 p.c. ha ⁻¹ + 3,0 p.c. ha ⁻¹ + 1,61 L ha ⁻¹	RV + DRT (Guar)
D+RTR+31+21	1,5 p.c. ha ⁻¹ + 3,0 p.c. ha ⁻¹ + 0,5% v v ⁻¹ + 0,75%	RV + DRT (Polímero)
D+RTR+31+02	1,5 p.c. ha ⁻¹ + 3,0 p.c. ha ⁻¹ + 0,5% v v ⁻¹ + 0,60%	RV + DRT (Polímero)
D+RTR+31+10	1,5 p.c. ha ⁻¹ + 3,0 p.c. ha ⁻¹ + 0,5% v v ⁻¹ + 0,10%	RV + DRT (MSO)

Figura 5 – Ponta TTI nas vazões ISO (015, 02, 03, 04 e 05)



Fonte: Teejet, (2023).

Figura 6 – Formulação das caldas de pulverização



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

A ponta selecionada para este estudo foi o modelo Turbo TeeJet Induction (TTI) (Figura 5), utilizado nas vazões ISO de 0,15, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 L/min, devido à sua adequação para a aplicação de dicamba. Este modelo se destaca por sua capacidade de gerar gotas nas classes de tamanho de grosso a ultra-grosso, o que é essencial para reduzir a deriva e melhorar a eficiência da pulverização. As pontas TTI apresentam um padrão de pulverização em jato plano com indução de ar e um ângulo amplo de 110°, características que favorecem a formação de gotas de maior volume e contribuem para a minimização da deriva.

A escolha desse modelo também está alinhada com a norma BS ISO 10625:2005, que estabelece um sistema padronizado de codificação de cores para as pontas de pulverização. Essa codificação facilita a identificação e seleção das pontas com base em parâmetros como taxa de fluxo, pressão de operação e tipo de pulverização. A padronização visual proporcionada pela codificação de cores torna a escolha da ponta mais eficiente, permitindo a seleção adequada para diferentes condições de aplicação, e promovendo maior precisão e segurança no processo de pulverização. Além disso, a padronização reduz a probabilidade de erros operacionais, contribuindo para uma aplicação mais segura e eficaz dos defensivos agrícolas (ISO, 2017).

Os tratamentos foram configurados utilizando doses fixas para os herbicidas e doses variáveis para os adjuvantes conforme as recomendações dos fabricantes. Os herbicidas selecionados foram o Dicamax (D), à base de dicamba (sal de DGA), derivado do grupo dos ácidos benzoicos, e o Roundup Transorb R (RTR), que contém glifosato e ácido glifosato em sua composição (Figura 6).

As avaliações foram realizadas em laboratório, com ambiente monitorado variando entre 50 – 65% para umidade relativa do ar e 25,5° a 28,0° C. De acordo com as leituras de espectro de gotas foram determinados os seguintes parâmetros: diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa (AR) e percentual do volume pulverizado com gotas com diâmetro inferior a 150 µm (V150).

O V150 foi utilizado como parâmetro de avaliação na pesquisa por conceber numericamente a proporção de gotas mais propensas a deriva dentro do espectro gerado em cada pulverização. Pesquisadores posicionam esse percentual com referência a outros tamanhos de referência, sendo mais frequente o uso do volume pulverizado com gotas com diâmetro inferior a 100 µm (Nuyttens *et al.*, 2010). O valor de referência pode apresentar variações de acordo com a pesquisa realizada, porém,

sua função permanece diferenciar as pontas quanto ao potencial de produzir gotas sujeitas à deriva.

A Amplitude Relativa foi calculada através da Equação $AR = (DV_{0,9} - DV_{0,1}) / DV_{0,5}$, Onde $DV_{0,1}$ = onde 10% do volume aplicado são constituídos por gotas com diâmetro menor do que o valor do $DV_{0,1}$; $DV_{0,5}$ = onde 50% do volume aplicado são compostos por gotas com diâmetro menor que o valor do $DV_{0,5}$ e $DV_{0,9}$ = onde 90% do volume aplicado são constituídos por gotas com diâmetro menor do que o valor de $DV_{0,9}$ (Nuyttens *et al.*, 2010).

3.3.3 Análise estatística

Os dados foram sujeitos à análise de variância e em seguida as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (p -valor < 0,05). O valor de $p < 0,05$ significa que se assume uma probabilidade de apenas 5% de que a diferença encontrada no estudo não seja verdadeira, apesar de, estatisticamente, ter sido assim demonstrada. Em outras palavras, as diferenças apresentadas entre os tratamentos possuem 95% de probabilidade de serem verdadeiras (Zar, 2010).

Os dados também foram sujeitos à análise de regressão para ajuste do modelo matemático que melhor explica os resultados (DMV, V150 e AR) em função das variações das concentrações recomendadas dos adjuvantes redutores de deriva nas caldas, bem como do coeficiente de determinação (R^2), o qual valida o modelo ajustado. O R^2 varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior será a precisão do modelo ajustado.

O modelo linear escolhido para este estudo é o que melhor se ajusta aos dados (maior R^2) e aquele que tecnicamente melhor caracteriza a relação entre o aumento da proporção da dose recomendada e o espectro de gotas. Ele é representado por $y = ax + b$, em que “y” é a variável resposta (DMV, V150 ou AR), “a” é o coeficiente angular, fator que multiplica a variável de entrada “x” (proporção da dose recomendada) e “b” é o coeficiente linear, o qual representa o ponto de interseção da reta com o eixo y quando $x = 0$. O sinal que acompanha “a” determinará se a relação do parâmetro em estudo (DMV, V150 ou AR) será diretamente proporcional (+) ou inversamente proporcional (-) (Montgomery *et al.*, 2012).

Houve limitações na abertura do jato de pulverização devido à pressão mínima necessária para a operação da ponta de pulverização, que se mostrou inferior àquela proposta nos ensaios, dependendo da composição da calda pulverizada. Essas limitações indicam que a pressão necessária para criar um jato de pulverização eficiente não foi atingida em algumas condições experimentais. A abertura do jato é crucial, pois afeta a distribuição das gotas e, conseqüentemente, a eficácia da aplicação dos defensivos agrícolas. Se a pressão for insuficiente, a ponta de pulverização não consegue produzir o ângulo de jato desejado, o que pode resultar em uma aplicação irregular.

Além disso, a composição da calda, que inclui a presença de adjuvantes, pode influenciar a pressão necessária para uma operação eficaz, tornando essencial considerar essas variáveis ao planejar aplicações. Na Figura 7, são apresentados exemplos de jatos de pulverização com diferentes aberturas de ângulo. Os dados de espectro de gotas referentes a esses casos não foram incluídos nas análises realizadas e estão discriminados individualmente nos resultados.

Figura 7 – Jato de pulverização com perfeita abertura do ângulo nas coletas de dados da ponta TTI 11003 a 1 bar aplicando a calda com o adjuvante redutor de deriva 32 (A) e jatos de pulverização sem a abertura adequada do ângulo de pulverização para a ponta TTI 110015 a 1 bar com as caldas contendo os adjuvantes 02 (B) e 21 (C)



Fonte: AgroEfetiva, (2023)

3.4 Experimento 2

O experimento teve como objetivo investigar a influência de diferentes adjuvantes, pressão de trabalho e vazão das pontas de pulverização Turbo TeeJet Induction (TTI) na caracterização dos ângulos de abertura dos jatos. Para isso, foram levantadas algumas hipóteses com o intuito de responder a requisitos importantes que influenciam na otimização da aplicação do herbicida dicamba:

1. A composição das caldas, especialmente a variação de adjuvantes, provocará alterações significativas nos ângulos de abertura dos jatos produzidos pelas pontas de pulverização TTI.
2. A pressão de trabalho, em conjunto com diferentes vazões das pontas de pulverização TTI, terá impacto direto nos ângulos de abertura dos jatos.
3. Mudanças na vazão das pontas de pulverização TTI, quando combinadas com diferentes adjuvantes, podem resultar em interações que influenciam os ângulos de abertura dos jatos.

Essas hipóteses serviram de orientação para a realização dos experimentos, análises estatísticas e interpretações dos resultados, com o intuito de compreender a interação entre a composição das caldas, pressão de trabalho, vazão das pontas e adjuvantes nos ângulos de abertura dos jatos das pontas de pulverização TTI.

3.4.1 Delineamento experimental e avaliação da abertura do ângulo

A pesquisa foi conduzida sob os mesmos parâmetros do Experimento 1, utilizando um delineamento inteiramente casualizado em um esquema fatorial com cinco experimentos (5 caldas x 5 pressões). A composição das caldas, que continha os herbicidas e adjuvantes, está detalhada nas Tabelas 2 e 3.

Para a formulação das caldas de pulverização, foi utilizada água deionizada à temperatura ambiente, garantindo a pureza necessária para evitar interferências nas análises dos efeitos dos adjuvantes e demais componentes da calda. Adicionou-se o corante azul brilhante FCF, da marca Sensient Colors/USA, na concentração de 0,6% (v/v) (Figura 8). Este corante atua como um marcador visual, facilitando a observação e análise da distribuição e cobertura das gotas durante a pulverização.

A utilização de corantes em estudos de aplicação de defensivos agrícolas é comum, pois permite uma avaliação mais precisa da eficácia da aplicação e do comportamento do jato pulverizado, além de possibilitar a identificação de deriva e perdas por evaporação. A concentração escolhida (0,6% v/v) foi adequada para garantir a visibilidade do corante sem comprometer a dinâmica da calda durante o processo de pulverização.

As avaliações do ângulo de pulverização foram realizadas em ambiente laboratorial monitorado, com umidade relativa do ar variando entre 50% e 65% e temperatura entre 25,5 °C e 28,0 °C. a ponta selecionada foi a TTI, nas vazões de 0,15, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 L/min, todas com um ângulo de 110° (Figura 5).

Figura 8 – Formulação das caldas de pulverização com corante azul brilhante



Fonte: AgroEfetiva, (2022).

A câmera selecionada para a realização do experimento foi o modelo EOS Rebel T5i 700D, da marca Canon. Esta câmera foi posicionada a uma distância de 1,42 m da ponta de pulverização, utilizando um tripé para garantir estabilidade e nivelamento, com a altura ajustada para 1,5 m em relação ao solo. O foco da câmera foi direcionado de forma precisa por meio de um manopé modelo Wt-3907, permitindo a captura de imagens nítidas para a avaliação do ângulo do jato de pulverização (Figura 9). Essa configuração foi essencial para assegurar a qualidade das imagens, que são fundamentais para a análise das características do jato e da distribuição das gotas geradas durante a pulverização.

Figura 9 – Posicionamento da câmera Canon para captura das imagens da abertura dos ângulos



Fonte: AgroEfetiva, (2022).

Após a pulverização e a estabilização do sistema por um minuto, o procedimento de captura de imagens foi iniciado. A câmera foi acionada para registrar três imagens distintas por tratamento, garantindo a obtenção de dados representativos e consistentes. Essa abordagem de múltiplas capturas visa minimizar variações e incertezas que possam ocorrer devido a fatores como oscilações no jato ou reflexos indesejados.

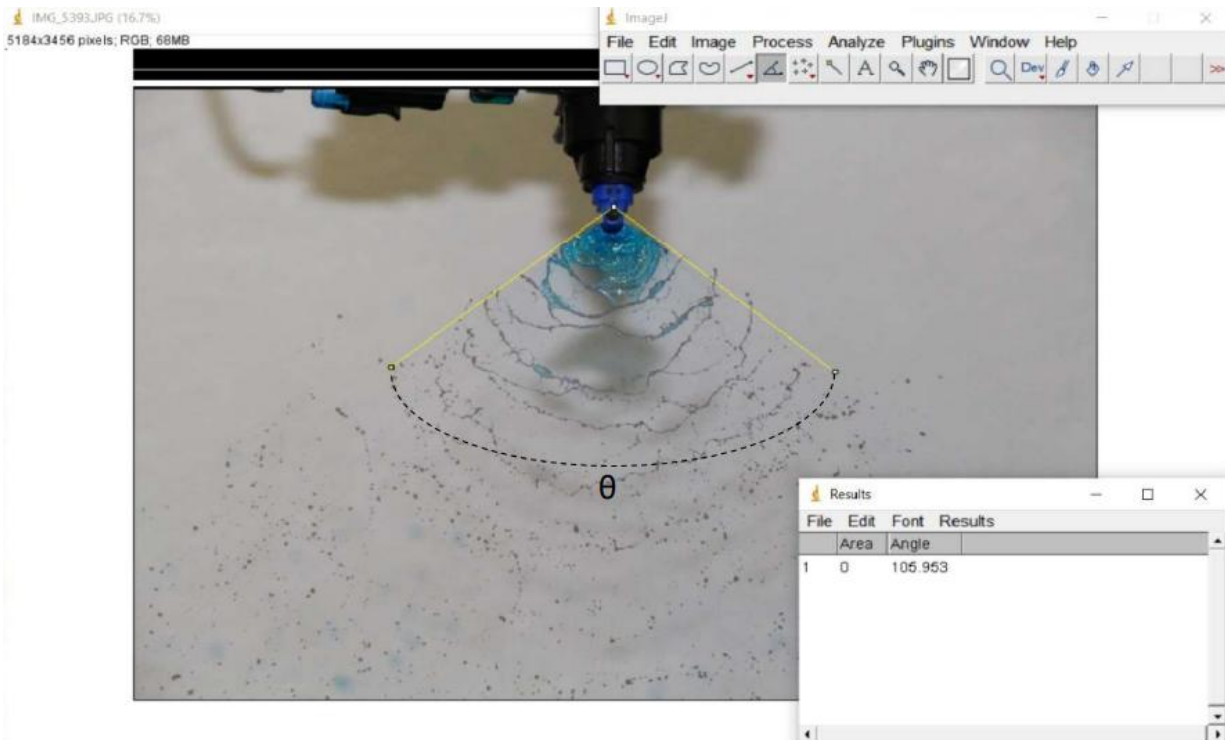
As imagens foram capturadas em intervalos regulares, permitindo uma avaliação mais abrangente do ângulo de abertura do jato de pulverização. A escolha de registrar três fotos por tratamento proporciona uma média que ajuda a suavizar eventuais flutuações nos dados, resultando em uma análise mais precisa do comportamento do jato sob diferentes condições experimentais.

As imagens obtidas durante o experimento foram analisadas com o software Image J. O processamento visou quantificar o ângulo de abertura do jato de pulverização, conforme demonstrado na Figura 10. Durante essa etapa, interações entre as imagens foram realizadas para identificar os efeitos dos diferentes fatores experimentais no desempenho do jato.

Para essa análise, o ângulo de 110° foi adotado como referência, de acordo com as especificações do fabricante das pontas de pulverização, que recomenda esse valor para aplicações de água com corante a uma pressão de 280 kPa. Essa escolha é fundamental para garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados obtidos nos diversos tratamentos.

Com o ângulo de referência estabelecido, foram iniciadas as avaliações dos ângulos de abertura correspondentes a cada tratamento no software Image J. Essa abordagem rigorosa permite uma análise precisa das variações de desempenho do jato sob diferentes condições experimentais, assegurando a validade dos dados coletados.

Figura 10 – Avaliação do ângulo de abertura do jato de pulverização pelo programa Image J



Fonte: AgroEfetiva, (2022).

4.4.2 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) para identificar possíveis interações entre os fatores pressão e composição da calda. Quando se observou uma interação significativa, procedeu-se com a análise detalhada de cada nível do fator "calda" dentro do fator "pressão" e vice-versa. Por outro lado, na ausência de interações significativas, os fatores foram analisados de forma independente.

Para a comparação das médias, utilizou-se o teste de Tukey, estabelecendo um nível de significância de $p < 0,05$. Um valor de p inferior a 0,05 indica que há apenas 5% de probabilidade de que as diferenças observadas sejam atribuídas ao acaso, conferindo assim uma confiabilidade de 95% nas comparações realizadas. Essa abordagem estatística assegura a robustez das conclusões tiradas a partir dos dados analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados Experimento 1

As avaliações foram realizadas com o objetivo de analisar a eficácia de diferentes adjuvantes redutores de deriva em misturas de herbicidas, utilizando as pontas de pulverização TTI 110015, TTI 11002, TTI 11003, TTI 11004 e TTI 11005. As análises do diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) e amplitude relativa (AR) foram iniciadas a pressões mínimas de 2,0 bar para a ponta TTI 110015 e 1,5 bar para as demais.

4.1.1 Diâmetro mediano volumétrico (DMV)

As avaliações do diâmetro mediano volumétrico (DMV) revelaram que a redução do DMV com o aumento da pressão foi influenciada pelo tipo de adjuvante utilizado. Na ponta TTI 110015, os resultados (Figura 11) mostraram que as caldas contendo os adjuvantes apresentaram uma maior tendência de redução do DMV com o aumento da pressão. O adjuvante 32 (Guar) destacou-se em pressões superiores a 5 bar, apresentando valores de DMV mais elevados em comparação aos demais adjuvantes, o que é benéfico para a segurança das aplicações e para a redução da deriva.

Na ponta TTI 11002, conforme indicado na (Figura 12), a redução do DMV foi observada em todas as caldas, variando em magnitude. Os adjuvantes 21 e 02 demonstraram uma diminuição significativa do DMV, especialmente nas pressões iniciais. Em contrapartida, o adjuvante 32, em pressões elevadas, gerou valores de DMV mais altos, evidenciando sua eficácia em manter a segurança das aplicações.

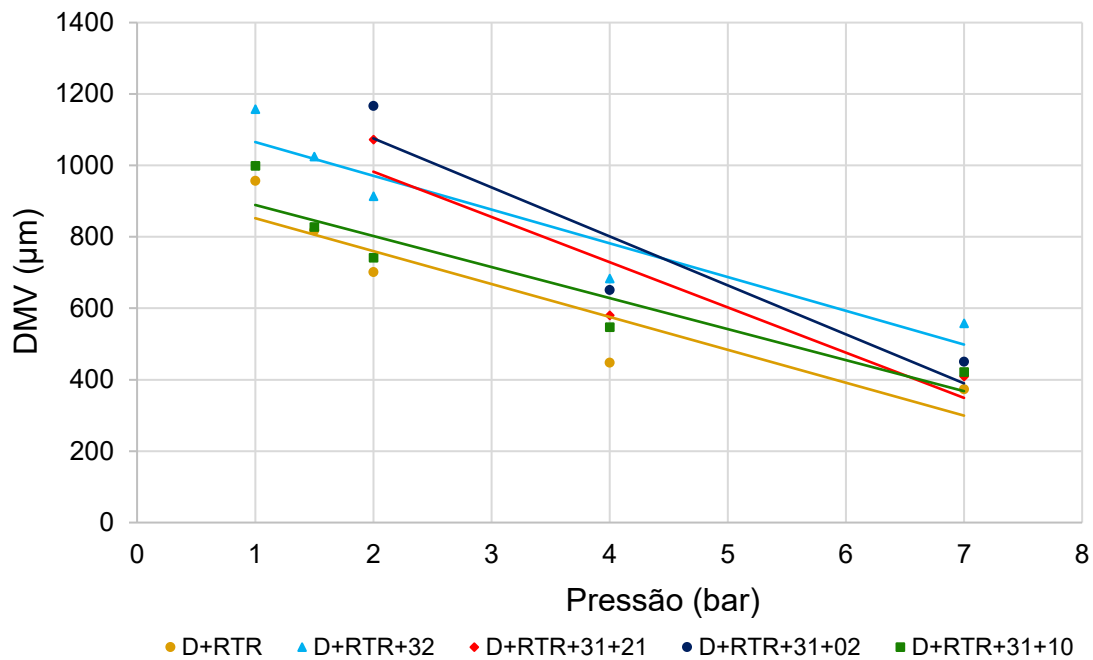
Na análise da ponta TTI 11003 (Figura 13), a calda contendo o adjuvante 21 iniciou a avaliação a 1,5 bar, enquanto o adjuvante 02 apresentou a maior tendência de diminuição do DMV. O adjuvante 10, por sua vez, exibiu um comportamento distinto, mostrando maior sensibilidade ao aumento da pressão. As misturas de herbicidas sem adjuvantes (D+RTR) e a que continha o adjuvante 32 foram menos influenciadas pela pressão.

Os dados obtidos com a ponta TTI 11004 (Figura 14) mostraram que as misturas sem adjuvante (D+RTR) e com adjuvante 32 apresentaram uma menor tendência de decréscimo, resultando em menores valores absolutos do coeficiente

angular. A calda que continha o adjuvante 10 e a mistura de herbicidas geraram os menores valores de DMV em todas as pressões.

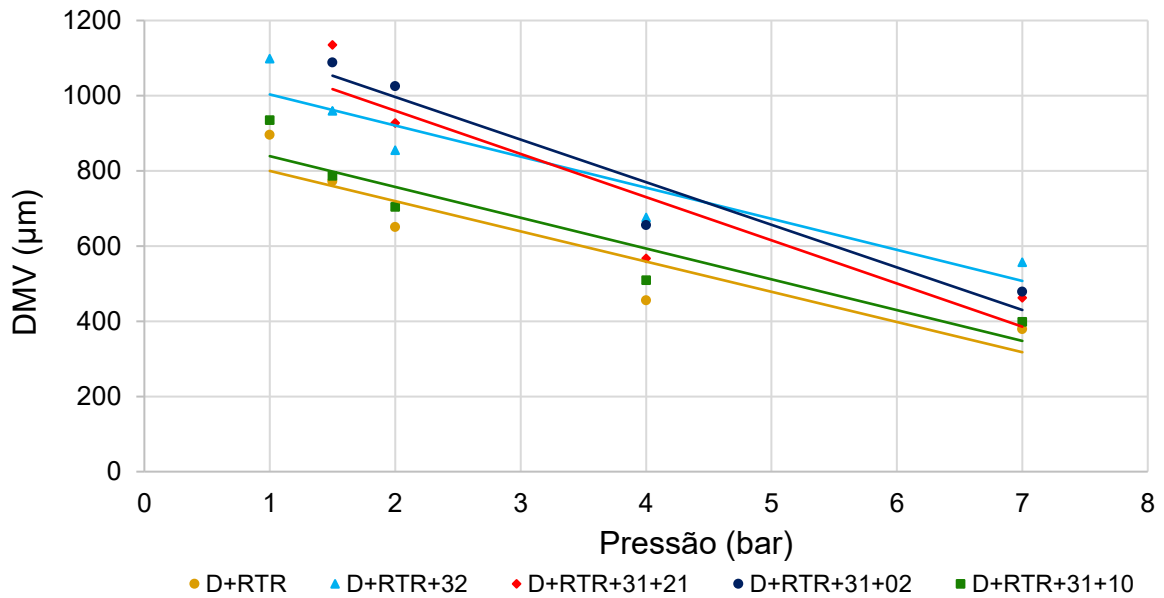
As avaliações observadas na ponta TTI 11005 (Figura 15) indicaram que as misturas de herbicidas (D+RTR) ou adjuvante 10 apresentaram os menores valores de DMV, independentemente da pressão. Contudo, essas caldas mostraram menor sensibilidade à redução do DMV em resposta ao aumento da pressão.

Figura 11 – Diâmetro mediano volumétrico (DMV) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 110015



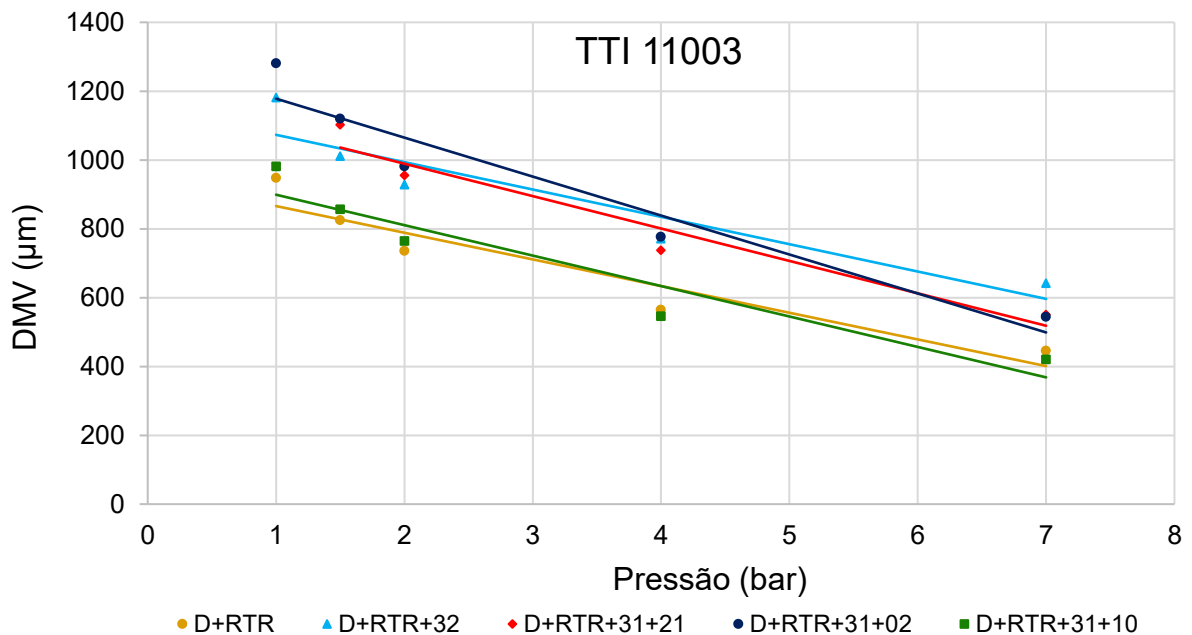
Fonte: AgroEfetiva, (2023)

Figura 12 – Diâmetro mediano volumétrico (DMV) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11002



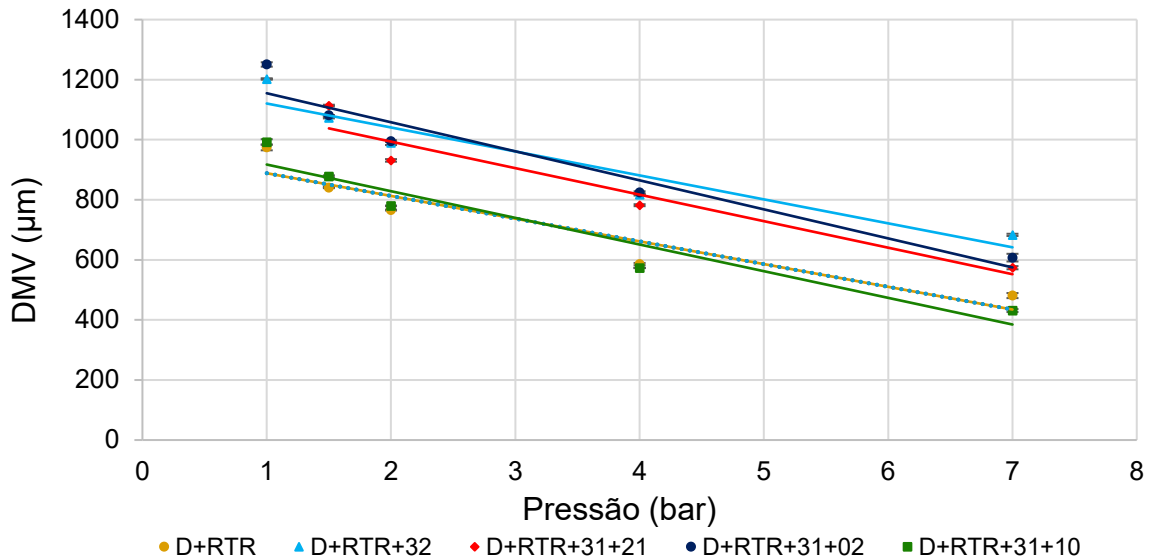
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 13 – Diâmetro mediano volumétrico (DMV) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11003



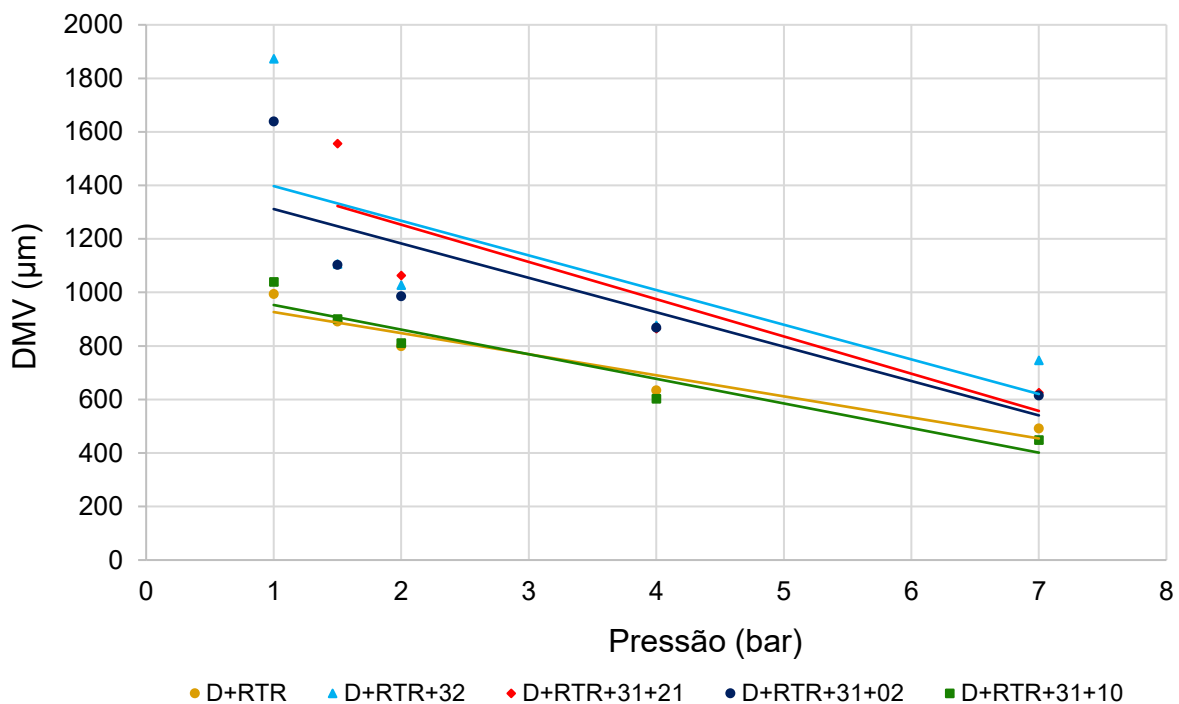
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 14 –Diâmetro mediano volumétrico (DMV) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11004



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 15 – Diâmetro mediano volumétrico (DMV) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11005



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

As equações de ajuste dos dados ao modelo linear, apresentadas nas tabelas correspondentes, mostraram correlações negativas significativas ($r < -0,9$) entre a pressão e o DMV, confirmando a relação inversa entre esses parâmetros. O coeficiente de determinação (R^2) variou entre as diferentes combinações de adjuvantes, refletindo a eficácia de cada um na redução da deriva. Para cada combinação de adjuvante, foi ajustado um modelo linear que descreve a relação entre a pressão aplicada e o diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas geradas.

Os modelos ajustados para a ponta TTI 110015 (Tabela 4) indicaram uma relação inversa significativa entre a pressão e o DMV, com coeficientes de determinação. A combinação com o adjuvante 32 apresentou o melhor ajuste. A correlação negativa sugere que o aumento da pressão resulta em uma diminuição significativa do DMV.

Para a ponta TTI 11002 (Tabela 5), o modelo que incluiu o adjuvante 02 obteve uma forte relação entre pressão e DMV. A correlação negativa reforça a eficácia dessa combinação de adjuvantes sob diferentes pressões. Na ponta TTI 11003 (Tabela 6), o modelo com o adjuvante 21 apresentou o maior R^2 , confirmando que o aumento da pressão está associado a uma redução significativa no DMV. Para a ponta TTI 11004 (Tabela 7), o tratamento com o adjuvante 02 obteve uma boa adequação do modelo. Os resultados da ponta TTI 11005 (Tabela 8), o tratamento D+RTR apresentou o melhor ajuste.

Os dados demonstram a importância da seleção adequada dos adjuvantes e das condições de aplicação para melhorar a eficácia e segurança nas aplicações de herbicidas, minimizando o risco de deriva. Os adjuvantes 21 e 02 apresentaram uma tendência significativa de diminuição do DMV em resposta ao aumento da pressão. O adjuvante 32 (Guar) destacou-se em pressões superiores a 5 bar, resultando em DMV mais elevados em comparação aos outros adjuvantes. Este resultado é favorável à segurança das aplicações, uma vez que valores mais altos de DMV indicam a formação de gotas mais grossas, reduzindo a probabilidade de deriva.

As misturas sem adjuvantes (D+RTR) demonstraram os menores valores de DMV em todas as pressões testadas, indicando uma tendência reduzida de decréscimo do DMV em relação ao aumento da pressão, sugerindo que a ausência de adjuvantes pode comprometer a eficiência no controle da deriva. O adjuvante 10 gerou os menores valores de DMV em comparação com os demais tratamentos, tanto em condições com quanto sem. A presença do adjuvante 10 não teve um impacto

positivo na redução da deriva, sugerindo que sua eficácia é limitada em comparação aos outros adjuvantes analisados.

Destaca-se o 32 como o adjuvante que oferece maior segurança nas aplicações, enquanto os adjuvantes 21 e 02 mostraram-se mais eficazes em condições de pressão mais baixas. As caldas sem adjuvantes apresentaram os menores valores de DMV, aumentando assim o risco de deriva.

Tabela 4 – Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do DMV (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 110015

Calda	Modelo ajustado	R^2	r
D+RTR	$y = -92,136x + 944,4$	0,8493	-0,9216
D+RTR+32	$y = -94,512x + 1160$	0,8963	-0,9467
D+RTR+31+21	$y = -126,67x + 1235,8$	0,8572	-0,9258
D+RTR +31+02	$y = -137,17x + 1350,1$	0,8735	-0,9346
D+RTR +31+10	$y = -86,879x + 976,15$	0,8769	-0,9364

Tabela 5 – Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do DMV (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11002

Calda	Modelo ajustado	R^2	r
D+RTR	$y = -80,372x + 880,29$	0,8454	-0,9194
D+RTR+32	$y = -82,687x + 1086,1$	0,8823	-0,9393
D+RTR+31+21	$y = -114,89x + 1189,8$	0,8391	-0,9160
D+RTR +31+02	$y = -113,33x + 1223,3$	0,9319	-0,9654
D+RTR +31+10	$y = -81,921x + 921,2$	0,8820	-0,9392

Tabela 6 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do DMV (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11003

Calda	Modelo ajustado	R2	r
D+RTR	$y = -77.5x + 943.55$	0,8997	-0,9486
D+RTR+31+32	$y = -79,455x + 1152,6$	0,8710	-0,9333
D+RTR+31+21	$y = -94,174x + 1177,5$	0,9404	-0,9697
D+RTR +31+02	$y = -113,21x + 1291,4$	0,9298	-0,9643
D+RTR +31+10	$y = -88.47x + 987.59$	0,9071	-0,9524

Tabela 7 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do DMV (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11004

Calda	Modelo ajustado	R2	R
D+RTR	$y = -75.643x + 964.14$	0,8874	-0,9420
D+RTR+31+32	$y = -79,813x + 1200,4$	0,9101	-0,9540
D+RTR+31+21	$y = -88,289x + 1170,3$	0,9276	-0,9631
D+RTR +31+02	$y = -96,681x + 1251,5$	0,9322	-0,9655
D+RTR +31+10	$y = -88.79x + 1006.2$	0,9215	-0,9600

Tabela 8 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do DMV (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11005

Calda	Modelo ajustado	R2	r
D+RTR	$y = -91,98x + 1045,1$	0,9287	-0,9637
D+RTR+32	$y = -129,51x + 1526,9$	0,5237	-0,7237
D+RTR+31+21	$y = -139,23x + 1531,7$	0,7718	-0,8785
D+RTR +31+02	$y = -128,51x + 1440,1$	0,6940	-0,8331
D+RTR +31+10	$y = -91.98x + 1045.1$	0,9194	-0,9588

Ao avaliar a variação da vazão ISO percebemos uma influência significativa sobre o diâmetro médio volumétrico (DMV) das gotas, com vazões mais elevadas resultando em um espectro de gotas com tamanhos variados, cuja distribuição é fortemente dependente da pressão aplicada.

Entre as formulações analisadas, a calda D+RTR+32 (Tabela 10), destaca-se por apresentar DMV significativamente maiores, especialmente em pressões mais baixas. Essa constatação sugere que a adição de componentes específicos na formulação pode modificar propriedades como viscosidade ou tensão superficial, favorecendo a formação de gotas de maior diâmetro.

Em comparação, a calda D+RTR+31+10 (Tabela 11), demonstra um comportamento intermediário, enquanto as formulações D+RTR+31+21 (Tabela 12), e D+RTR+31+02 (Tabela 13) evidenciam variações no DMV que também são influenciadas pela pressão, apresentando valores mais elevados sob condições de baixa pressão.

As tabelas apresentadas oferecem dados detalhados sobre o espectro de gotas, expressos em DMV (μm), em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (em bar) para diferentes formulações de caldas.

Tabela 9 – Espectro de gotas (DMV μm) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR

Vazão	Pressão				
	1	1,5	2	4	7
15	956,3	817,0	700,8	447,0	372,9
2	896,3	773,1	650,8	455,9	379,5
3	947,4	824,6	735,8	563,8	444,9
4	974,5	840,8	765,9	586,0	481,1
5	993,2	890,9	798,7	633,0	490,9

Tabela 10 – Espectro de gotas (DMV μm) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+32

Vazão	Pressão				
	1	1,5	2	4	7
15	1157,0	1024,8	913,5	682,7	557,1
2	1098,7	960,3	855,7	676,4	557,8
3	1181,0	1010,3	928,1	770,4	641,4
4	1202,3	1073,4	989,6	816,7	683,2
5	1872,9	1105,9	1026,6	875,8	746,0

Tabela 11 – Espectro de gotas (DMV μ m) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+31+10

Vazão	Pressão				
	1	1,5	2	4	7
15	998,6	827,2	741,1	546,3	420,9
2	935,1	787,1	704,8	509,8	399,3
3	981,1	856,2	764,0	545,3	420,2
4	992,4	877,9	779,8	573,3	431,2
5	1039,4	900,4	810,1	601,9	447,9

Tabela 12 – Espectro de gotas (DMV μ m) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+31+21.

Vazão	Pressão				
	1	1,5	2	4	7
15			1072,1	579,9	408,9
2		1135,8	927,4	567,9	462,4
3		1101,9	954,9	737,6	550,2
4		1113,8	931,2	782,0	573,9
5		1555,8	1063,1	864,6	624,5

Tabela 13 – Espectro de gotas (DMV μ m) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+31+02

Vazão	Pressão				
	1	1,5	2	4	7
15			1166,1	650,6	450,1
2		1088,8	1026,1	656,0	479,2
3	1280,6	1119,8	980,9	776,8	543,9
4	1250,6	1081,0	995,2	824,8	607,4
5	1638,7	1102,1	984,9	868,2	614,5

4.1.2 Percentual do volume de gotas menores do que 150 μ m (V150)

O percentual volumétrico de gotas com diâmetro inferior a 150 μ m (V150) é um parâmetro crítico para a avaliação do risco de deriva em aplicações de produtos químicos. Um aumento no V150 indica uma maior proporção de gotas suscetíveis à deriva, o que pode comprometer a eficácia da aplicação e aumentar a contaminação ambiental. Observou-se que o incremento da pressão de pulverização está

positivamente correlacionado com a formação de gotas menores, resultando, assim, em um aumento do V150.

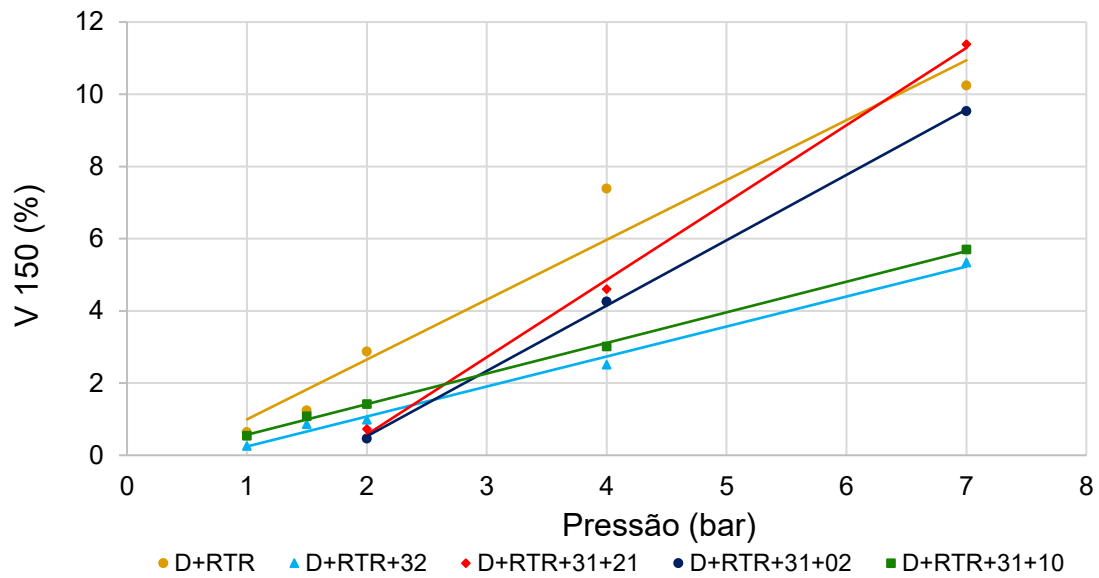
Na aplicação com a ponta TTI 110015 (Figura 16), todas as caldas analisadas apresentaram variações significativas no V150 em função da pressão. A calda contendo o adjuvante redutor de deriva 32 (Guar) demonstrou o menor V150 em todas as pressões testadas e sofreu a menor alteração no parâmetro quando a pressão foi elevada de 1 para 7 bar. Um comportamento análogo foi observado com o tratamento que continha o adjuvante 10. Em contrapartida, as caldas com os adjuvantes 21 e 02 e a D +RTR apresentaram os maiores coeficientes angulares, indicando que o V150 aumentou significativamente com a pressão.

Na ponta TTI 11002 (Figura 17), a calda com o adjuvante 32 também gerou o menor V150 a partir de 2 bar, mostrando um aumento mínimo do parâmetro com o aumento da pressão. Embora as caldas com os adjuvantes 21 e 02 apresentassem valores de V150 reduzidos em pressões abaixo de 2 bar, essas mesmas caldas exibiram o maior aumento no V150 em resposta ao incremento de pressão. Notavelmente, a calda composta apenas pela mistura de herbicidas, sem adjuvantes, resultou no maior valor de V150, evidenciando um aumento acentuado com a pressão.

Com a ponta TTI 11003 (Figura 18), a calda que continha o adjuvante 32 apresentou os menores valores de V150 e sofreu a menor influência do aumento de pressão. Os outros adjuvantes demonstraram comportamentos semelhantes, com uma tendência de aumento de V150 que se manteve paralela nas retas ajustadas. Na aplicação com a ponta TTI 11004 (Figura 19), o adjuvante 32 novamente resultou nos menores valores de V150 e foi menos afetado pelo aumento da pressão, enquanto o tratamento com adjuvante 21 teve o maior aumento no V150 em resposta à elevação da pressão.

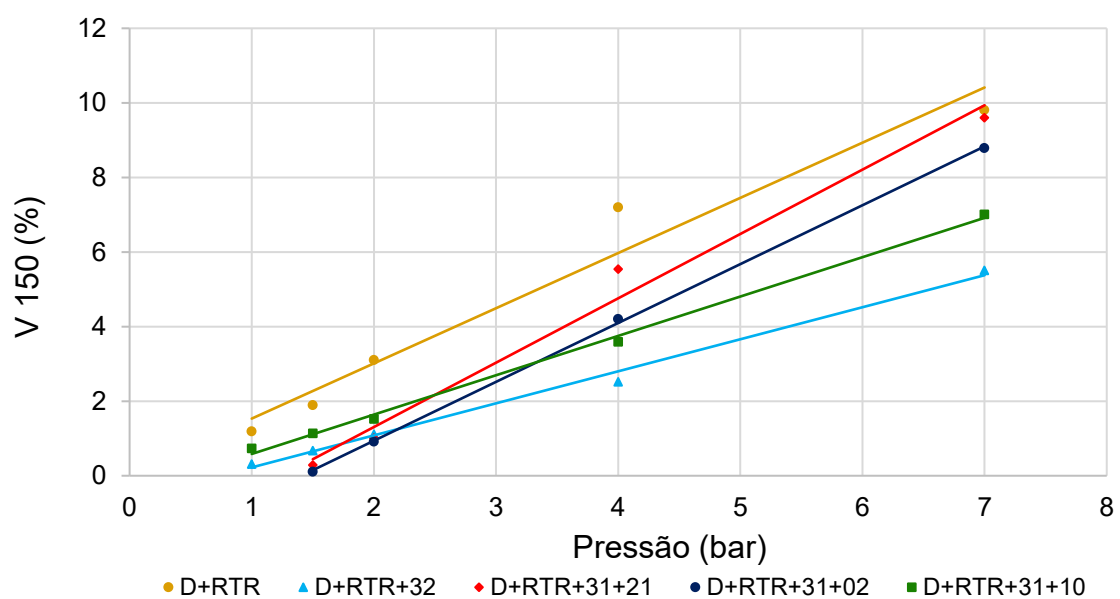
Finalmente, na ponta TTI 11005 (Figura 20), a calda com adjuvante 32 continuou a apresentar os menores valores de V150, com um impacto reduzido do aumento da pressão. Os demais tratamentos apresentaram coeficientes angulares semelhantes, indicando um comportamento uniforme em relação ao aumento do V150 com a pressão. De maneira geral, as caldas formadas pelos adjuvantes 10 e D +RTR geraram os maiores valores de V150, enquanto os tratamentos com os adjuvantes 21 e 02 apresentaram valores intermediários.

Figura 16 – Percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 110015



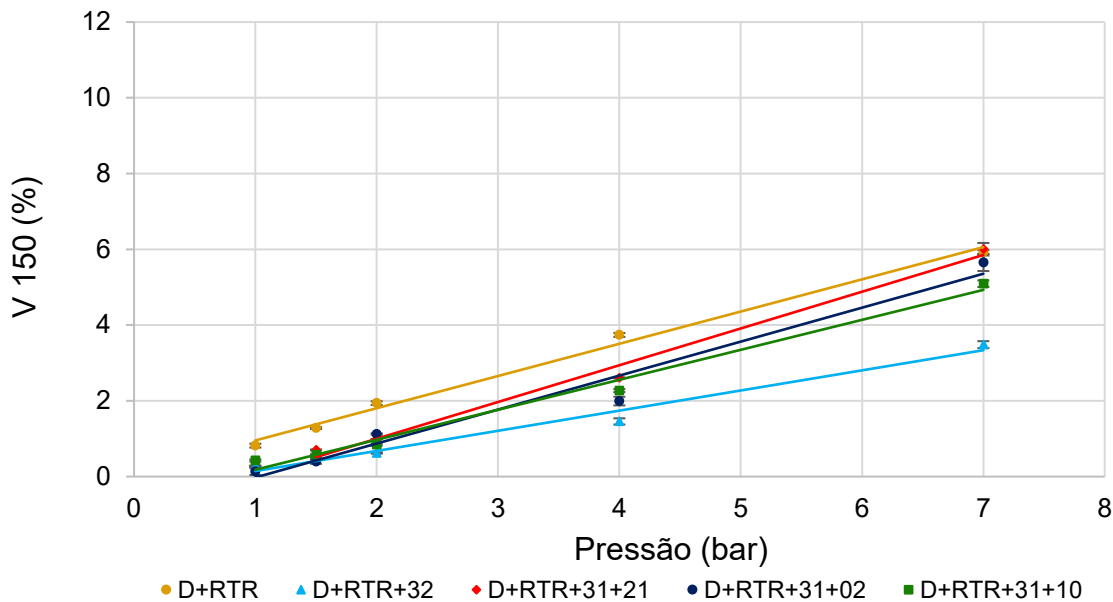
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 17 – Percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11002



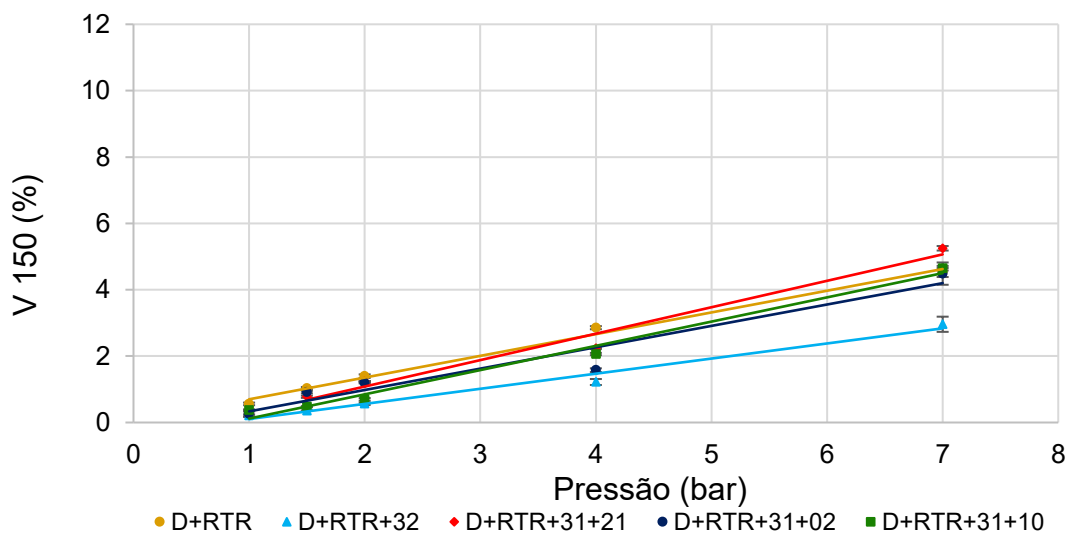
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 18 – Percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11003



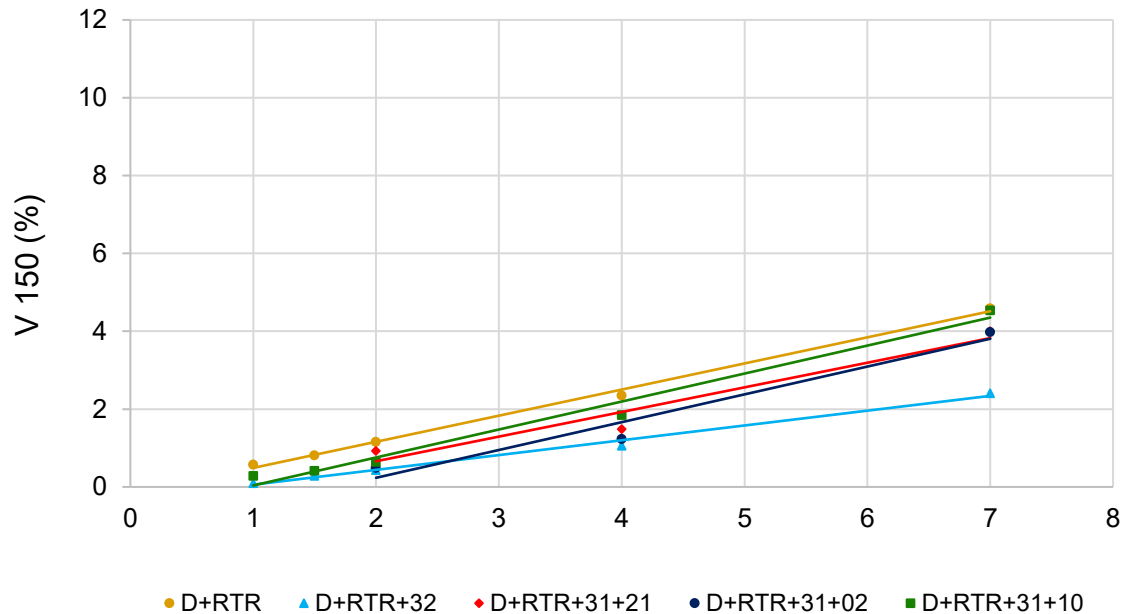
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 19 – Percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11004



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 20 – Percentual do volume de gotas menores do que 150 μm (V150) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11005



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Assim como na avaliação do DMV, foram realizadas análises de regressão linear para descrever a relação entre o percentual volumétrico de gotas menores que 150 μm (V150) e a pressão aplicada. Os resultados podem ser vistos nas tabelas 13 a 17.

Na ponta TTI 110015, observou-se que as caldas que combinam adjuvantes mostram um comportamento linear forte em relação à pressão. A calda D+RTR+31+02 destacou-se com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9996 e uma correlação (r) de 0,9998, indicando que a pressão explica praticamente toda a variabilidade do V150. Os valores de R^2 variaram entre 0,9567 (D+RTR) e 0,9996 (D+RTR+31+02), evidenciando que caldas com mais adjuvantes tendem a ter um melhor ajuste.

Já na ponta TTI 11002, a calda D+RTR+31+02 novamente se destacou, apresentando um R^2 de 0,9997 e r de 0,9998, o que sugere uma excelente capacidade preditiva do modelo. As outras caldas também mostraram boa linearidade, com R^2 superiores a 0,9611, sugerindo que as variações na pressão têm um impacto consistente no V150. Na Tabela 11, os resultados para a ponta TTI 11003 seguem um

padrão similar, onde a calda D+RTR apresenta um R^2 de 0,9932. As caldas com combinações de adjuvantes demonstraram um forte ajuste, especialmente a D+RTR+31+21, com R^2 de 0,9904, e a maioria dos modelos apresentou alta correlação, reforçando a robustez das relações observadas.

Os resultados para a ponta TTI 11004 mostraram que a calda D+RTR também apresentou um bom desempenho ($R^2 = 0,9933$), embora a D+RTR+31+02 tenha um R^2 relativamente mais baixo (0,9366), ainda assim evidenciando uma boa correlação ($r = 0,9678$). Esse padrão sugere que a eficácia dos adjuvantes pode variar entre diferentes combinações. Por fim, na Tabela 17, correspondente à ponta TTI 11005, a calda D+RTR novamente se destacou, com R^2 de 0,9968 e r de 0,9984, indicando uma relação linear muito forte. As combinações de adjuvantes mostraram desempenho variável, mas mantiveram correlações robustas, especialmente para as caldas D+RTR+31+32 e D+RTR+31+10, que ficaram acima de 0,9900.

Em suma, as análises demonstram que a pressão de aplicação é um fator importante na geração de gotas menores que $150 \mu\text{m}$, com a força da relação variando conforme a composição das caldas e as pontas de pulverização utilizadas. As altas correlações e coeficientes de determinação indicam que a escolha adequada de adjuvantes e ajustes na pressão podem otimizar a eficácia das aplicações, promovendo uma cobertura mais eficiente e reduzindo o risco de deriva.

Tabela 13 - Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do V150 (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 110015

Calda	Modelo ajustado	R^2	R
D+RTR	$y = 1,6577x - 0,6635$	0,9567	0,9781
D+RTR+32	$y = 0,8308x - 0,5873$	0,9934	0,9967
D+RTR+31+21	$y = 2,1422x - 3,7106$	0,9983	0,9992
D+RTR +31+02	$y = 1,8104x - 3,096$	0,9996	0,9998
D+RTR +31+10	$y = 0,848x - 0,2807$	0,9989	0,9994

Tabela 14 - Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do V150 (y) em função da pressão (x) para as caldeas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11002

Calda	Modelo ajustado	R^2	r
D+RTR	$y = 1,48x + 0,0526$	0,9611	0,9804
D+RTR+32	$y = 0,8591x - 0,6353$	0,9942	0,9971
D+RTR+31+21	$y = 1,7261x - 2,1462$	0,9852	0,9925
D+RTR +31+02	$y = 1,579x - 2,2198$	0,9997	0,9998
D+RTR +31+10	$y = 1,0556x - 0,4718$	0,9974	0,9987

Tabela 15 - Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do V150 (y) em função da pressão (x) para as caldeas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11003

Calda	Modelo ajustado	R^2	r
D+RTR	$y = 0,8505x + 0,104$	0,9932	0,9966
D+RTR+31+32	$y = 0,5318x - 0,386$	0,9818	0,9909
D+RTR+31+21	$y = 0,9705x - 0,9421$	0,9904	0,9952
D+RTR +31+02	$y = 0,8966x - 0,92$	0,9687	0,9842
D+RTR +31+10	$y = 0,7915x - 0,6111$	0,9879	0,9939

Tabela 16 - Equações, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do V150 (y) em função da pressão (x) para as caldeas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11004

Calda	Modelo ajustado	R^2	r
D+RTR	$y = 0,6543x + 0,0451$	0,9933	0,9966
D+RTR+31+32	$y = 0,4553x - 0,35$	0,9826	0,9912
D+RTR+31+21	$y = 0,7967x - 0,5105$	0,9787	0,9893
D+RTR +31+02	$y = 0,6441x - 0,3095$	0,9366	0,9678
D+RTR +31+10	$y = 0,7305x - 0,6127$	0,9869	0,9934

Tabela 17 - Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares do V150 (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11005

Calda	Modelo ajustado	R2	r
D+RTR	$y = 0.671x - 0.182$	0,9968	0,9984
D+RTR+31+32	$y = 0,3802x - 0,3221$	0,9924	0,9962
D+RTR+31+21	$y = 0.6329x - 0.6059$	0,9454	0,9723
D+RTR +31+02	$y = 0.7146x - 1.1942$	0,9582	0,9789
D+RTR +31+10	$y = 0.7189x - 0.6811$	0,9820	0,9910

4.1.3 Amplitude relativa (AR)

A amplitude relativa (AR) é um indicador crítico da homogeneidade no tamanho das gotas de pulverização, com valores mais altos refletindo uma maior variação no tamanho das gotas. Neste estudo, observou-se que o aumento da pressão durante a pulverização resultou em um incremento da AR para todas as caldas analisadas. Os tratamentos contendo adjuvantes redutores de deriva, especificamente o 32 (Guar) e 10 (MSO), apresentaram valores de AR menos sensíveis às variações de pressão, o que é altamente benéfico para a homogeneidade do espectro de gotas. Em pressões superiores a 4 bar, a AR desses tratamentos foi significativamente inferior em comparação com os demais.

Na análise da ponta de pulverização TTI 110015 (Figura 21), as caldas contendo os adjuvantes 21 e 02 exibiram a menor AR nas pressões mais baixas. No entanto, sua sensibilidade aumentou com o incremento da pressão, resultando em AR mais elevadas a partir de 4 bar, especialmente quando comparadas ao tratamento que consistia na mistura de herbicidas sem adjuvantes. Para a ponta TTI 11002 (Figura 22), todas as caldas mostraram aumento da AR com o incremento da pressão, sendo que as caldas com os adjuvantes 21 e 02 apresentaram o maior aumento na AR. Os adjuvantes 32 e 10 foram menos afetados pelo aumento da pressão, mantendo AR menores em pressões superiores a 4 bar.

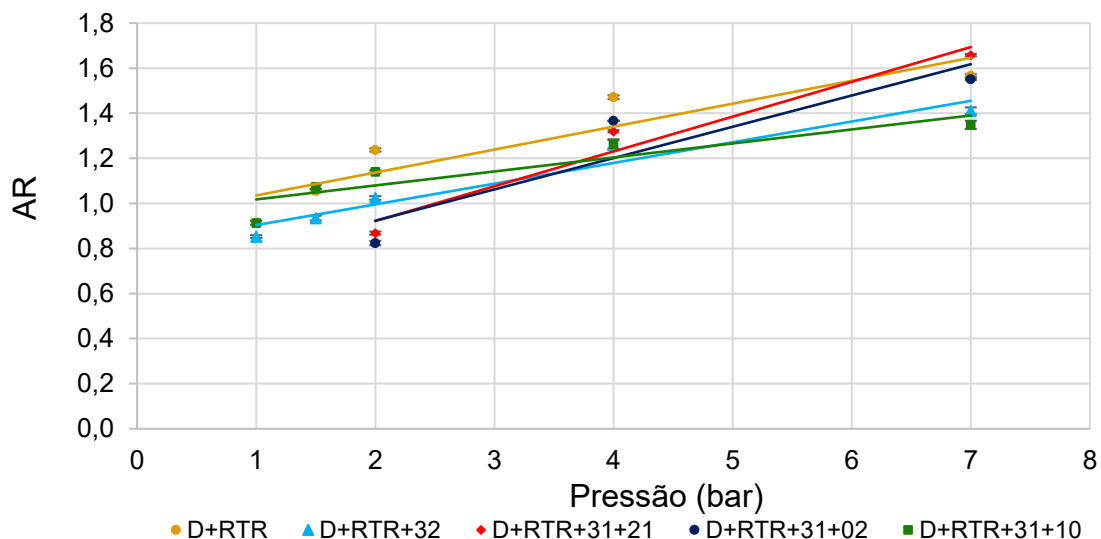
Na análise com a ponta TTI 11003 (Figura 23), o tratamento composto apenas pela mistura de herbicidas (D+RTR) apresentou o maior aumento na AR, indicando maior heterogeneidade. A ausência de adjuvantes resultou em aplicações menos

uniformes, enquanto os tratamentos com adjuvantes mostraram comportamento semelhante em relação à AR com o aumento da pressão, mas com menores AR em pressões superiores a 4 bar para a calda contendo o adjuvante 32.

Na ponta TTI 11004 (Figura 24), a falta de adjuvantes gerou aplicações com maior AR, denotando menor uniformidade. Os tratamentos com os adjuvantes 32 e 10 foram menos impactados pelo aumento da pressão, apresentando AR consistentemente menores, especialmente para o adjuvante 32. Por outro lado, o tratamento D + RTR foi o mais afetado pelo incremento de pressão, resultando em maior AR e, conseqüentemente, maior heterogeneidade na aplicação.

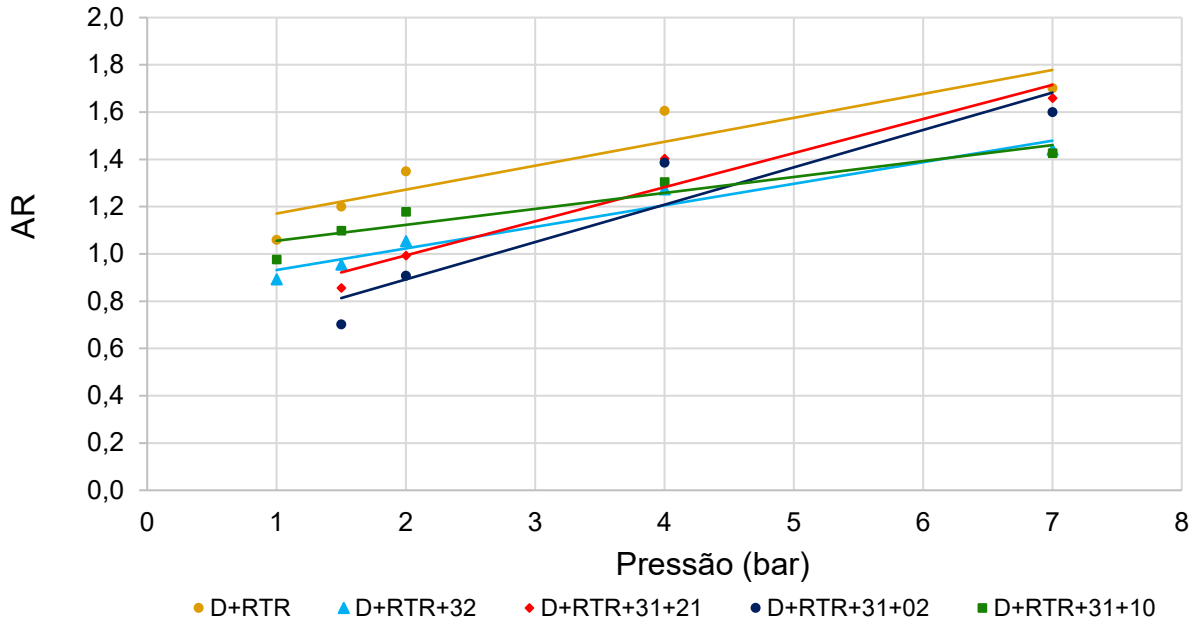
Finalmente, na ponta TTI 11005 (Figura 25), a ausência de adjuvantes redutores de deriva resultou em maior AR, especialmente em pressões superiores a 3 bar. Observou-se que a pressão teve um impacto mais significativo sobre a AR nas aplicações de herbicidas sem adjuvantes, enquanto as caldas com os adjuvantes 32 ou 02 mostraram, em geral, menores valores de AR. O adjuvante 21, por sua vez, apresentou a menor sensibilidade às variações de pressão, refletida em um coeficiente angular reduzido.

Figura 21 – Amplitude relativa (AR) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 110015



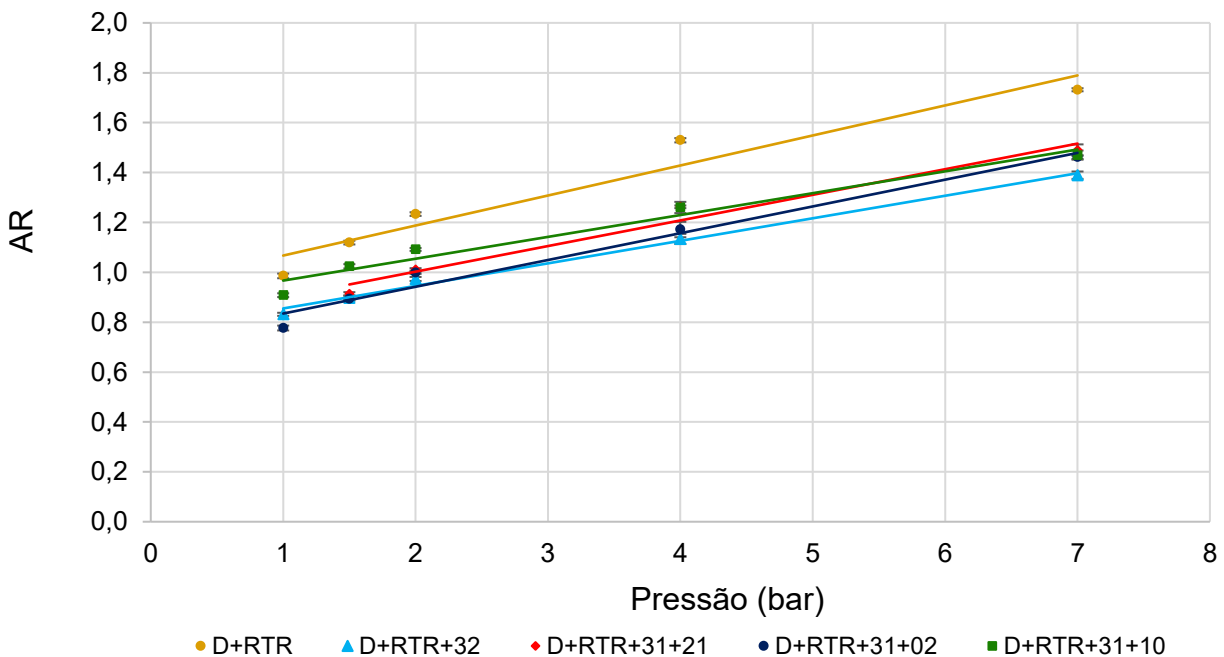
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 22 – Amplitude relativa (AR) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11002



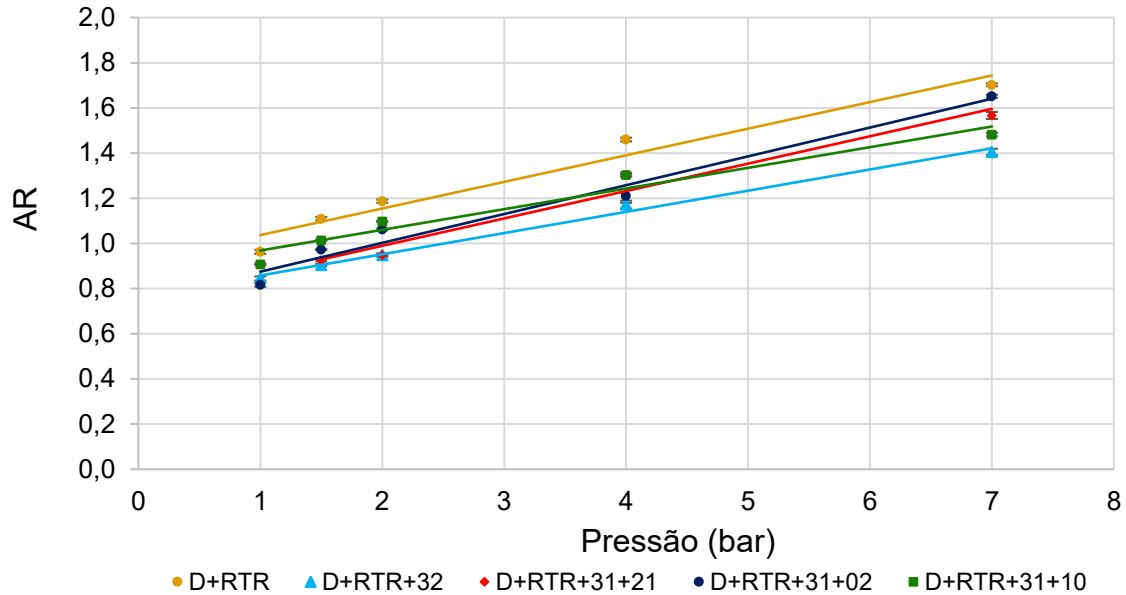
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 23 – Amplitude relativa (AR) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11003



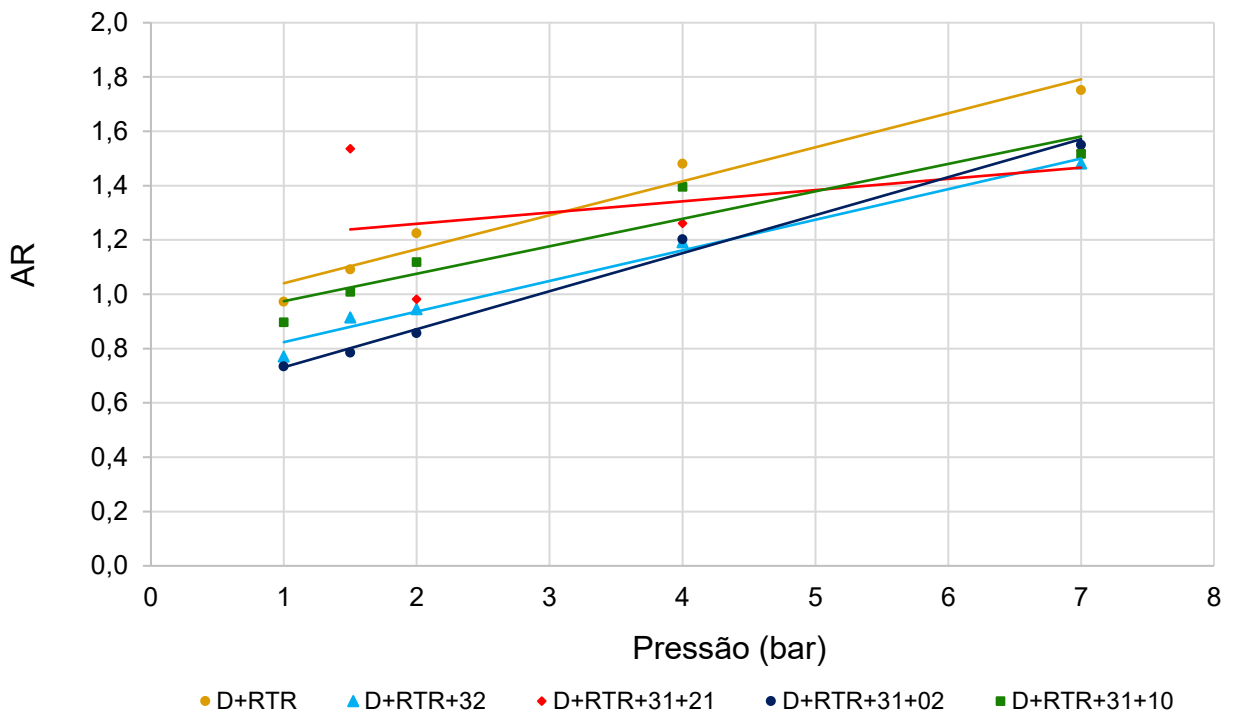
Fonte: AgroEfetiva, (2022).

Figura 24 – Amplitude relativa (AR) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11004



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 25 – Amplitude relativa (AR) em função da pressão e calda contendo adjuvantes redutores de deriva aplicada pela ponta TTI 11005



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Os resultados de análises de regressões lineares investigaram a relação entre a taxa de aplicação (AR) e a pressão, considerando diferentes formulações de caldas com adjuvantes redutores de deriva e diversas pontas de pulverização. Para a ponta TTI 110015 (Tabela 18), a calda D+RTR indicou uma correlação moderada. Ao incorporar diferentes componentes nas caldas, observou-se um aumento no coeficiente de determinação (R^2), com o adjuvante 21 alcançando R^2 de 0,9614 e r de 0,9805. Os adjuvantes 02 e 32 também mostraram resultados positivos, mas com desempenho ligeiramente inferior ao do adjuvante 21.

Para a ponta TTI 11002 (Tabela 19), a calda D+RTR apresentou desempenho superior ao da TTI 110015, com R^2 de 0,8549 e r de 0,9246. O adjuvante 32 destacou-se, demonstrando que a adição desse componente é vantajosa. Os adjuvantes 21 e 02 apresentaram boas correlações, enquanto o 10 teve um desempenho um pouco inferior, com R^2 de 0,8969. Na ponta TTI 11003 (Tabela 20), o modelo D+RTR obteve os melhores resultados, com R^2 de 0,9400 e r de 0,9695, indicando uma forte correlação. O adjuvante 32 apresentou desempenho excepcional, com R^2 de 0,9926 e r de 0,9963, evidenciando uma excelente relação entre as variáveis. Os outros modelos ajustados também mostraram R^2 acima de 0,97, reforçando a eficácia das caldas na previsão.

Na análise da ponta TTI 11004 (Tabela 21), todos os modelos ajustados mantiveram alto desempenho, com R^2 variando de 0,9536 a 0,9930. A calda D+RTR+32 foi a mais eficaz, com R^2 de 0,9930 e r de 0,9965, corroborando a tendência de que a inclusão de componentes específicos melhora a performance dos modelos. Por fim, os resultados para a ponta TTI 11005 (Tabela 22) foram variados. Enquanto as caldas D+RTR e D+RTR+32 apresentaram R^2 elevados (0,9639 e 0,9831, respectivamente), o adjuvante 21 teve um desempenho significativamente inferior, com R^2 de apenas 0,1537, indicando ineficácia. Já os adjuvantes 02 e 10 mostraram resultados satisfatórios, mas não se igualaram às melhores combinações.

Os dados sugerem que a adição de componentes específicos nas caldas tende a melhorar a correlação entre os parâmetros analisados. O adjuvante 32 destacou-se em várias análises, indicando que essa combinação é eficaz para maximizar o desempenho das pontas TTI. A utilização dos coeficientes de determinação e correlação é essencial para validar a adequação dos modelos ajustados. Esses resultados ressaltam a importância da escolha adequada de adjuvantes para otimizar a homogeneidade das aplicações, especialmente em condições de alta pressão.

Tabela 18 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares da AR (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 110015

Calda	Modelo ajustado	R ²	r
D+RTR	$y = 0,1018x + 0,9334$	0,8369	0,9148
D+RTR+32	$y = 0,0919x + 0,8118$	0,9436	0,9714
D+RTR+31+21	$y = 0,1544x + 0,613$	0,9614	0,9805
D+RTR +31+02	$y = 0,1389x + 0,6453$	0,8545	0,9244
D+RTR +31+10	$y = 0,0621x + 0,9554$	0,8216	0,9064

Tabela 19 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares da AR (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11002

Calda	Modelo ajustado	R ²	r
D+RTR	$y = 0,1012x + 1,0695$	0,8549	0,9246
D+RTR+32	$y = 0,0912x + 0,8408$	0,9578	0,9787
D+RTR+31+21	$y = 0,1443x + 0,7052$	0,9467	0,9730
D+RTR +31+02	$y = 0,1581x + 0,576$	0,902	0,9497
D+RTR +31+10	$y = 0,0675x + 0,9881$	0,8969	0,9471

Tabela 20 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares da AR (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11003

Calda	Modelo ajustado	R ²	r
D+RTR	$y = 0,1204x + 0,9467$	0,9400	0,9695
D+RTR+31+32	$y = 0,0948x + 0,7406$	0,9926	0,9963
D+RTR+31+21	$y = 0,1027x + 0,7972$	0,9745	0,9871
D+RTR +31+02	$y = 0,1263x + 0,6038$	0,9754	0,9876
D+RTR +31+10	$y = 0,0876x + 0,8793$	0,9666	0,9831

Tabela 21 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares da AR (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11004

Calda	Modelo ajustado	R ²	r
D+RTR	$y = 0.1178x + 0.9192$	0,9617	0,9807
D+RTR+31+32	$y = 0.0996x + 0.7331$	0,9930	0,9965
D+RTR+31+21	$y = 0,1213x + 0,7469$	0,9725	0,9862
D+RTR +31+02	$y = 0.1561x + 0.5627$	0,9745	0,9872
D+RTR +31+10	$y = 0.0915x + 0.877$	0,9536	0,9765

Tabela 22 – Equações, coeficientes de determinação (R²) e correlação (r) provenientes de regressões lineares da AR (y) em função da pressão (x) para as caldas contendo adjuvantes redutores de deriva aplicadas pela ponta TTI 11005

Calda	Modelo ajustado	R ²	r
D+RTR	$y = 0.1252x + 0.9154$	0,9639	0,9818
D+RTR+31+32	$y = 0.1127x + 0.711$	0,9831	0,9915
D+RTR+31+21	$y = 0,0414x + 1,1768$	0,1537	0,3921
D+RTR +31+02	$y = 0.14x + 0.5914$	0,9926	0,9963
D+RTR +31+10	$y = 0.1011x + 0.8734$	0,9044	0,9510

4.2 Discussão Experimento 1

A análise dos dados demonstrou uma influência significativa entre a pressão aplicada e os diferentes adjuvantes redutores de deriva sobre o diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas, em função das diversas vazões da ponta TTI. Para uma caracterização abrangente da qualidade da pulverização, é crucial avaliar em conjunto os valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual do volume de gotas menores do que 150 µm (V150) e amplitude relativa (AR).

Segundo Moraes et al. (2012), uma maior amplitude relativa está associada a uma menor uniformidade nos tamanhos das gotas produzidas. Embora o DMV sirva como um valor de referência, ele não indica a dispersão dos dados ao redor desse valor. A amplitude relativa próxima a zero sugere homogeneidade no tamanho das gotas (Cunha *et al.*, 2010).

Durante o experimento, foi observado que o aumento da pressão resultou em uma redução do DMV. Em contrapartida, houve um aumento nos valores de V150 e AR com diferentes concentrações de adjuvantes, sugerindo que alguns adjuvantes eram mais suscetíveis a variações de pressão, gerando mudanças significativas em DMV, V150 e AR. Isso resultou em um aumento da porcentagem de gotas finas, mesmo para adjuvantes classificados como redutores de deriva.

A redução no tamanho das gotas é desejável para garantir uma boa cobertura do alvo, uma vez que gotas menores proporcionam melhor cobertura (Bueno *et al.*, 2013). Contudo, em aplicações com dicamba, essa redução não é recomendada, devido ao risco elevado de deriva em áreas adjacentes a culturas suscetíveis. O adjuvante 32 (guar) destacou-se por gerar gotas grossas e aumentar a segurança das aplicações, apresentando valores intermediários de DMV e V150 em pressões mais baixas (1 a 3 bar) e mostrando-se mais seguro em pressões elevadas (acima de 3 bar). Esse comportamento pode ser atribuído à menor variação desses parâmetros em resposta à alteração da pressão, evidenciada por um coeficiente angular inferior em comparação com outros adjuvantes.

A formação das gotas é influenciada pela relação entre a calda a ser pulverizada e a ponta de pulverização, considerando as propriedades dos herbicidas e a mistura com adjuvantes (De Ruiter, 2002). O diâmetro do orifício de saída da ponta também afeta o tamanho das gotas (Butler-Ellis *et al.*, 2002; CUNHA *et al.*, 2020). Pontas de indução de ar possuem orifícios de saída maiores do que as de não indução (Güler *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2020) e apresentam comportamentos distintos em relação às pontas hidráulicas convencionais devido à interação ar-líquido em seu interior (Miller; Butler-Ellis, 2000). Pressões mais elevadas geralmente levam a uma maior proporção de gotas finas, evidenciando uma redução do DMV à medida que a pressão aumenta (Spanoghe *et al.*, 2007).

No presente estudo, tanto o tamanho do orifício das pontas de pulverização quanto o tipo de adjuvante utilizado determinaram a pressão mínima para a abertura do jato. Os adjuvantes 21 e 02 (polímeros) limitaram a abertura dos jatos a menos de

2 bar para a ponta TTI 110015 e abaixo de 1,5 bar para a ponta TTI 11002. Pesquisadores identificaram uma correlação entre o aumento do tamanho das gotas e o incremento da vazão nominal da ponta (Nuyttens *et al.*, 2007).

Essa correlação é corroborada pelos dados que mostram que, mesmo nas pressões mais elevadas, todos os tratamentos apresentaram um aumento no DMV com o aumento da vazão nominal da ponta. Notou-se que os tratamentos 02, 21 e 32 exibiram uma tendência positiva em relação ao DMV, com os maiores tamanhos de gotas observados especialmente a 7 bar, em comparação aos tratamentos D + RTR e DR 10.

A utilização do herbicida dicamba sem adjuvantes redutores de deriva não é recomendada, devido às características dos herbicidas mimetizadores de auxina. As pontas de indução de ar funcionam de maneira distinta, devido à presença da câmara de turbulência, onde ocorre a mistura entre ar e líquido (Miller; Butler-Ellis, 2002).

Embora o tamanho da gota seja predominantemente influenciado pela seleção da ponta (Balsari *et al.*, 2018), adjuvantes à base de polímeros podem impactar significativamente tanto o tamanho da gota quanto a fragmentação do jato de pulverização, mesmo em baixas concentrações (Creech *et al.*, 2015). A viscosidade de soluções poliméricas contribui para o aumento do tamanho das gotas (Hewitt, 1999; Lewis *et al.*, 2016), enquanto outras propriedades reológicas, como tensão dinâmica da superfície e viscosidade com taxa de cisalhamento zero, também foram associadas ao aumento no tamanho das gotas de pulverização (Felsot *et al.*, 2010; Lewis *et al.*, 2016).

Estudos com adjuvantes poliméricos e sulfato de amônio demonstraram um aumento no tamanho das gotas para todos os tipos de pontas avaliadas (Alves *et al.*, 2018). Esses pesquisadores observaram que, ao aplicar diferentes tratamentos (dicamba isolado e dicamba + fosfatidilcolina) com a ponta AIXR, foram obtidos DMV semelhantes. Entretanto, ao utilizar a ponta XR, que gera um espectro de gotas mais fino, os adjuvantes aumentaram o DMV em relação ao dicamba isolado (Alves *et al.*, 2018).

Fietsam *et al.*, (2004) avaliaram quatro tipos de pontas e caldas contendo glifosato, tanto isoladamente quanto em combinação com adjuvantes redutores de deriva (poliacrilamida e hidroxipropil guar), e observaram que a introdução dos adjuvantes resultou em uma melhoria nas características do jato de pulverização. Os adjuvantes poliméricos são essenciais na formulação de caldas para pulverização

agrícola, afetando significativamente o tamanho e a uniformidade da distribuição das gotas. Esses compostos alteram as propriedades reológicas das soluções de pulverização, favorecendo a estabilização das gotas durante a pulverização e minimizando a fragmentação excessiva (Creech *et al.*, 2015).

A inclusão de adjuvantes poliméricos não só aumenta o DMV, mas também reduz a porcentagem de gotas menores que 150 μm (V150), minimizando o risco de deriva. A AR também se beneficia da adição de adjuvantes, promovendo uma distribuição mais homogênea e aumentando a eficiência da aplicação (Moraes *et al.*, 2012).

Ademais, a escolha do adjuvante deve considerar os objetivos da aplicação, as características específicas da cultura e as condições ambientais. Pesquisas adicionais são necessárias para compreender melhor as interações entre diferentes polímeros e herbicidas sob diversas condições de aplicação, visando otimizar as práticas de pulverização.

4.3 Resultados Experimento 2

A interação entre a composição da calda e a pressão de trabalho demonstrou um impacto significativo no ângulo de pulverização em todos os tratamentos realizados. Esses fatores mostraram influências relevantes sobre o ângulo de pulverização, indicando a necessidade de estudar cada nível do fator calda em relação a cada nível do fator pressão, e vice-versa, para uma compreensão abrangente dessa interação.

A composição da calda teve um impacto notável nos ângulos de pulverização. A calda contendo o adjuvante 10 resultou em ângulos consistentemente superiores a 110° em diversas pressões, evidenciando sua eficácia na promoção de uma melhor cobertura. Em contrapartida, os adjuvantes 32, 21 e 02 mostraram uma influência negativa, gerando ângulos de pulverização significativamente inferiores em comparação à calda com o adjuvante 10 e à calda sem adjuvantes. Esse achado sugere uma possível falta de sobreposição durante a pulverização, o que pode comprometer a eficiência do tratamento.

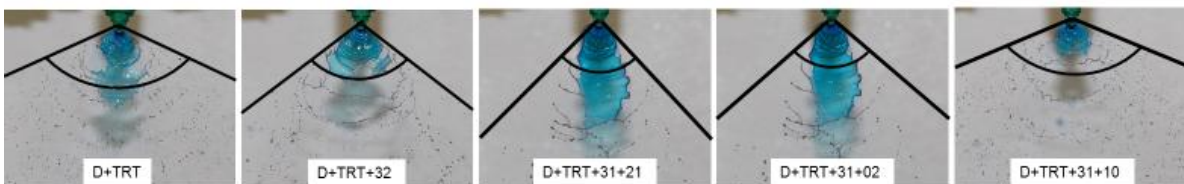
Ao avaliar o efeito da pressão em cada calda sobre o ângulo (Figuras 26 a 30), observou-se que o aumento da pressão ocasiona um incremento no ângulo de aplicação, independentemente do adjuvante utilizado. A ponta de pulverização TTI

apresenta um sistema defletor que favorece a formação do jato, cuja principal característica é a ampliação do ângulo, mesmo com pressões mais baixas (Perecin *et al.*, 1998; Román *et al.*, 2010; Teejet Technologies, 2014).

As variações nos resultados entre as diferentes pontas de pulverização também merecem destaque. Para as pontas TTI 11002 e TTI 11003, a calda com o adjuvante “10” proporcionou os maiores ângulos, exceto em uma condição específica (2 bar para a TTI 11002). Por outro lado, as pontas TTI 11004 e TTI 11005 não apresentaram variação significativa entre as caldas com o adjuvante 10 e a mistura D+RTR, enquanto os adjuvantes 32, 21 e 02 continuaram a produzir ângulos inferiores, corroborando a tendência observada nas demais pontas.

Em relação aos efeitos desses resultados na qualidade da aplicação, ângulos menores do que os recomendados pelo fabricante das pontas podem gerar grande desuniformidade e falhas na aplicação, considerando os 50 cm de altura da barra do pulverizador. Ângulos superiores aos previstos também poderiam afetar negativamente a uniformidade, embora esse efeito tende a ser menos pronunciado em comparação com os ângulos reduzidos.

Figura 26 – Ilustração dos ângulos de abertura da ponta de pulverização TTI 110015 com a alteração da composição da calda na pressão de trabalho de 2 bar



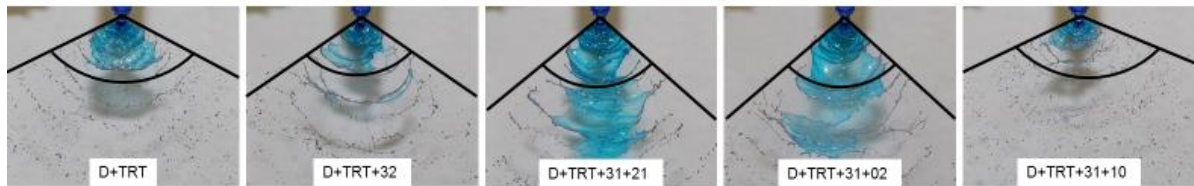
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 27 – Ilustração ângulos de abertura da ponta de pulverização TTI 11002 com a alteração da composição da calda na pressão de trabalho de 2 bar



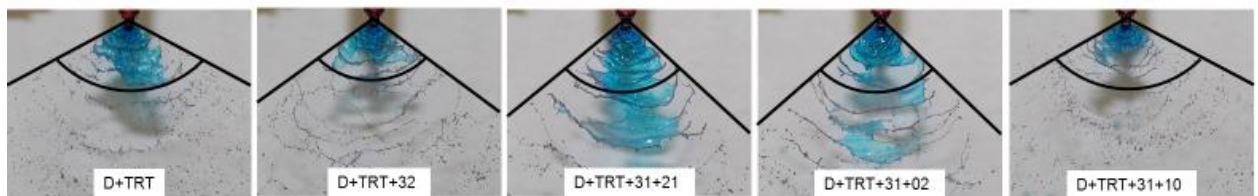
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 28 – Ilustração dos ângulos de abertura da ponta de pulverização TTI 11003 com a alteração da composição da calda na pressão de trabalho de 2 bar



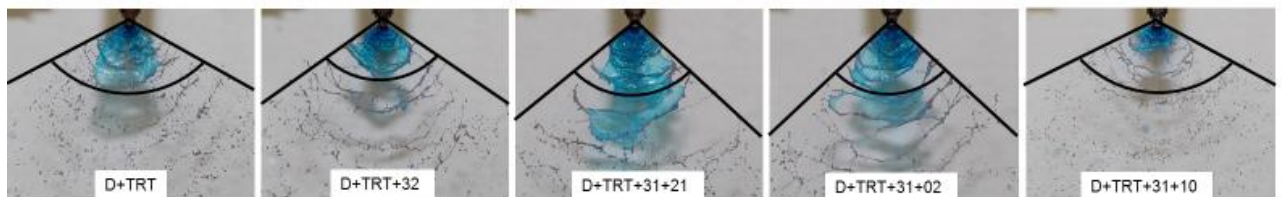
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 29 – Ilustração dos ângulos de abertura da ponta de pulverização TTI 11004 com a alteração da composição da calda na pressão de trabalho de 2 bar



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Figura 30 – Ilustração dos ângulos de abertura da ponta de pulverização TTI 11005 com a alteração da composição da calda na pressão de trabalho de 2 bar



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

A análise estatística por meio do teste de Tukey indicou diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados apresentados nas tabelas 23 a 32, reiteram um padrão claro tanto o aumento da pressão quanto a escolha do adjuvante impactam significativamente o ângulo de pulverização.

Para a ponta TTI 110015 (Figura 31), observou-se que a calda D+RTR gerou ângulos que variaram de 109,4° a 149,7° ao alterar a pressão de 1 a 7 bar, indicando uma relação positiva entre pressão e ângulo. Em contraste, a calda D+RTR+32

apresentou ângulos consideravelmente menores, variando de 92,6° a 128,6°, sugerindo que a presença desse adjuvante comprometeu a eficácia da pulverização. Por outro lado, a calda D+RTR+31+10 destacou-se com os maiores ângulos, que variaram de 115,5° a 147,9°, reafirmando a importância da escolha do adjuvante para otimizar a cobertura.

A análise da ponta TTI 11002 (Figura 32) seguiu a mesma tendência. Os ângulos de abertura da calda D+RTR aumentaram de 115,8° a 154,2° com o aumento da pressão. A calda D+RTR+32, novamente, apresentou desempenho inferior, com ângulos de 97,7° a 136,2°. A mistura D+RTR+31+10 destacou-se, apresentando ângulos que variaram de 119,7° a 168,1°, demonstrando-se a opção mais eficaz em todas as pressões testadas.

Na ponta TTI 11003 (Figura 33), os ângulos de pulverização da calda D+RTR variaram de 128,9° a 158,3°. A calda D+RTR+31+10 também se destacou, apresentando ângulos que foram de 128,2° a 168,7°, evidenciando a superioridade dessa combinação. Outras caldas, como D+RTR+31+21 e D+RTR+31+02, apresentaram ângulos significativamente menores, reforçando a importância da escolha dos adjuvantes.

Para a ponta TTI 11004 (Figura 34), os ângulos da calda D+RTR variaram de 126,7° a 153,4°. A calda D+RTR+31+10 novamente se destacou, apresentando ângulos que variaram de 129,9° a 151,6°, enquanto as caldas com os adjuvantes 32 e 21 mostraram ângulos mais baixos, corroborando o padrão observado nas outras pontas.

A análise dos dados da ponta de pulverização TTI 11005 (Figura 35) demonstrou que a calda D+RTR apresentou ângulos de pulverização variando de 127,1° a 150,9°. Em contraste, a calda D+RTR+32 exibiu ângulos significativamente mais baixos, de 104,8° a 137,8°, indicando uma eficácia reduzida, especialmente em pressões mais baixas. As caldas D+RTR+31+21 e D+RTR+31+02 começaram com ângulos baixos (81,9° e 81,3°, respectivamente), melhorando apenas nas pressões mais altas. Por outro lado, a D+RTR+31+10 se destacou ao alcançar ângulos entre 132,6° e 153,2°, demonstrando sua superioridade.

Esses resultados sublinham a importância da escolha adequada dos adjuvantes e da pressão de trabalho para otimizar a eficiência das aplicações na pulverização agrícola. Em síntese, os dados evidenciam que tanto a pressão de

trabalho quanto a composição das caldas têm um impacto significativo no ângulo de pulverização das pontas TTI.

Tabela 23 – Resultado da análise de variância (ANOVA) para o ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 110015 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada

Fatores	F	p. valor	Significância
Calda	187,186	<0,01	Significativo
Pressão	167,019	<0,01	Significativo
Calda x Pressão	4,426	<0,01	Significativo
Coeficiente de variação (%)	4,28		

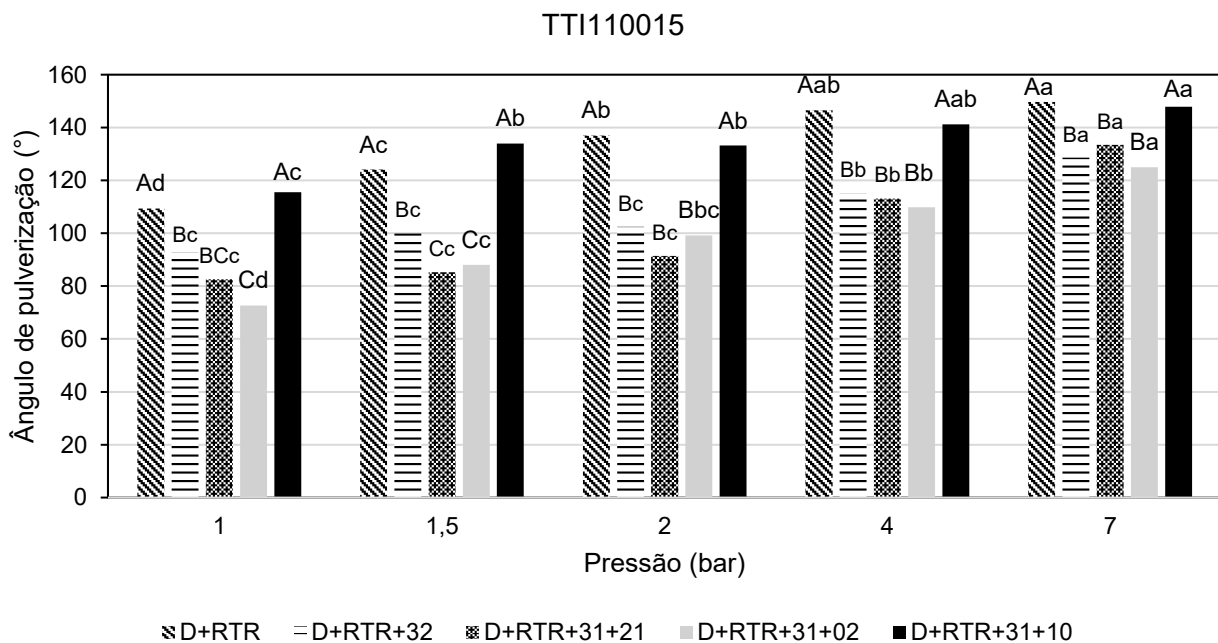
*F- indica o resultado do cálculo da ANOVA e o p valor a significância do fator em estudo, sendo significativo quando $\leq 0,05$

Tabela 24 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 110015 em função da pressão (bar) de trabalho e da calda pulverizada

Caldas	Pressão									
	1	1,5	2	4	7	1	1,5	2	4	7
D+RTR	109,4	Ad	124,1	Ac	137,0	Ab	146,5	Aab	149,7	Aa
D+RTR+32	92,6	Bc	100,2	Bc	102,4	Bc	115,2	Bb	128,6	Ba
D+RTR+31+21	82,6	BCc	85,3	Cc	91,4	Bc	113,1	Bb	133,4	Ba
D+RTR+31+02	72,7	Cd	88,0	Cc	99,2	Bbc	109,8	Bb	125,0	Ba
D+RTR+31+10	115,5	Ac	134,0	Ab	133,2	Ab	141,2	Aab	147,9	Aa

*médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Figura 31 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 110015 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada



*letras minúsculas comparam pressões para um mesmo nível do fator calda e maiúsculas comparam as caldas para um mesmo nível do fator pressão. Letras distintas identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 25 – Resultado da análise de variância (ANOVA) para o ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11002 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada

Fatores	F	p. valor	Significância
Calda	521,7	<0,01	Significativo
Pressão	453,0	<0,01	Significativo
Calda x Pressão	5,27	<0,01	Significativo
Coeficiente de variação (%)	2,57		

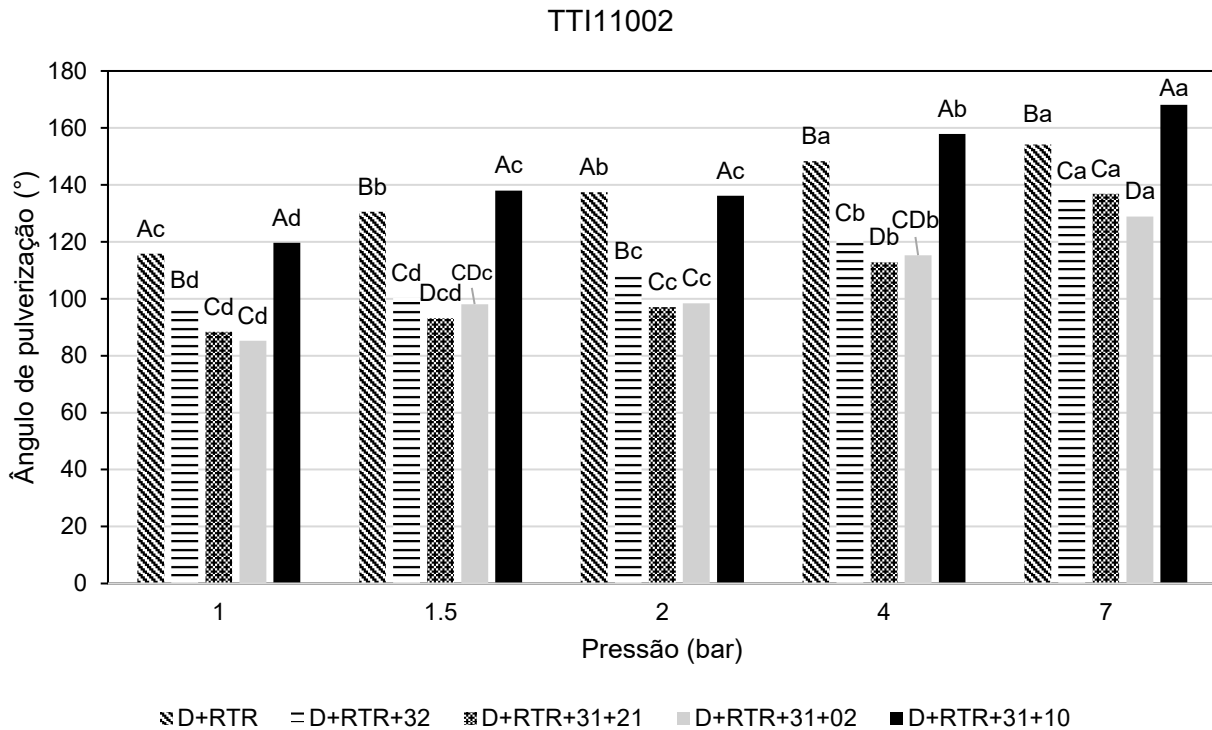
*F- indica o resultado do cálculo da ANOVA e o p valor a significância do fator em estudo, sendo significativo quando $\leq 0,05$

Tabela 26 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11002 em função da pressão (bar) de trabalho e da calda pulverizada

Caldas	Pressão									
	1		1,5		2		4		7	
D+RTR	115,8	Ac	130,6	Bb	137,4	Ab	148,3	Ba	154,2	Ba
D+RTR+32	97,7	Bd	100,3	Cd	108,0	Bc	121,4	Cb	136,2	Ca
D+RTR+31+21	88,4	Cd	93,1	Dcd	97,0	Cc	112,8	Db	136,8	Ca
D+RTR+31+02	85,3	Cd	98,1	CDc	98,4	Cc	115,3	CDb	128,9	Da
D+RTR+31+10	119,7	Ad	138,0	Ac	136,2	Ac	157,9	Ab	168,1	Aa

*médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Figura 32 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11002 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada



*letras minúsculas comparam pressões para um mesmo nível do fator calda e maiúsculas comparam as caldas para um mesmo nível do fator pressão. Letras distintas identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 27 – Resultado da análise de variância (ANOVA) para o ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11003 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada

Fatores	F	p. valor	Significância
Calda	547,11	<0,01	Significativo
Pressão	384,36	<0,01	Significativo
Calda x Pressão	12,77	<0,01	Significativo
Coeficiente de variação (%)	2,88		

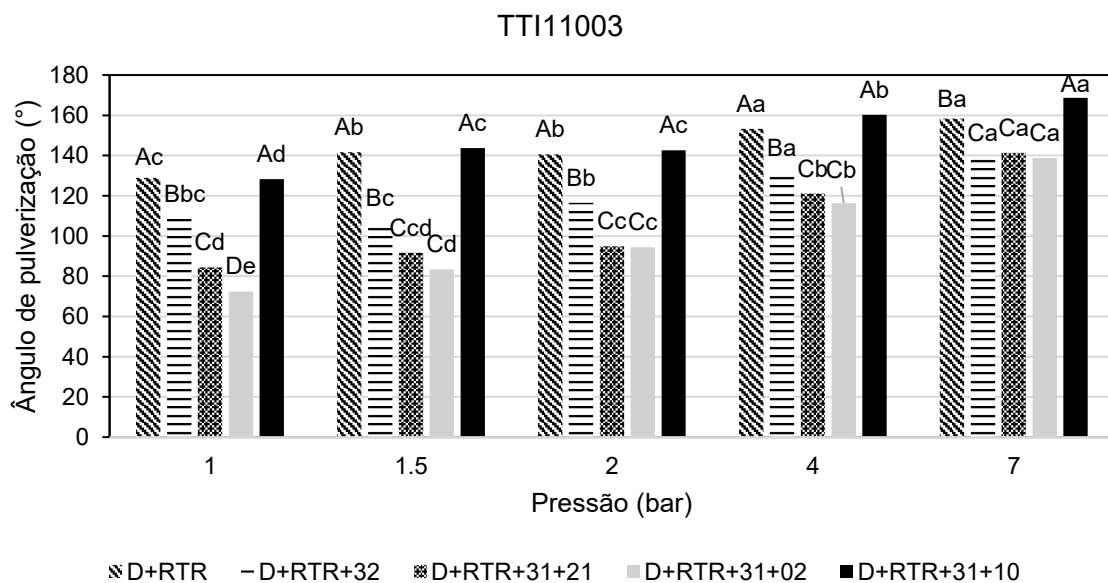
*F- indica o resultado do cálculo da ANOVA e o p valor a significância do fator em estudo, sendo significativo quando $\leq 0,05$

Tabela 28 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11003 em função da pressão (bar) de trabalho e da calda pulverizada

Caldas	Pressão									
	1	1,5	2	4	7					
D+RTR	128,9	Ac	141,7	Ab	140,5	Ab	153,3	Aa	158,3	Ba
D+RTR+32	109,7	Bbc	106,3	Bc	116,5	Bb	131,1	Ba	138,9	Ca
D+RTR+31+21	84,4	Cd	91,6	Ccd	94,9	Cc	121,1	Cb	141,3	Ca
D+RTR+31+02	72,4	De	83,4	Cd	94,3	Cc	116,4	Cb	138,7	Ca
D+RTR+31+10	128,2	Ad	143,7	Ac	142,6	Ac	160,2	Ab	168,7	Aa

*médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Figura 33 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11003 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada



*letras minúsculas comparam pressões para um mesmo nível do fator calda e maiúsculas comparam as caldas para um mesmo nível do fator pressão. Letras distintas identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 29 – Resultado da análise de variância (ANOVA) para o ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11004 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada

Fatores	F	p. valor	Significância
Calda	442,8	<0,01	Significativo
Pressão	355,47	<0,01	Significativo
Calda x Pressão	15,25	<0,01	Significativo
Coeficiente de variação (%)	2,76		

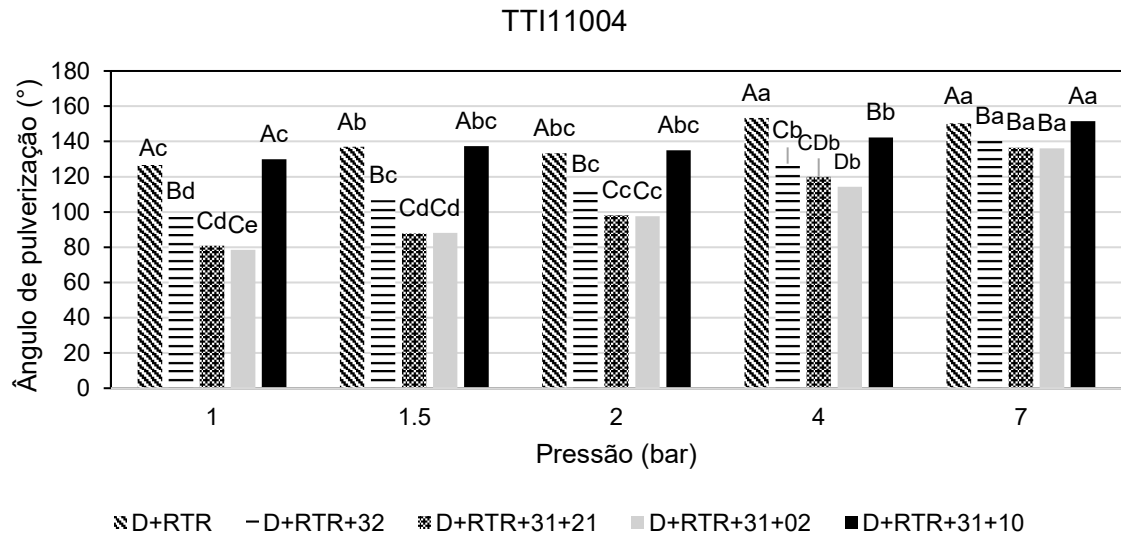
*F- indica o resultado do cálculo da ANOVA e o p valor a significância do fator em estudo, sendo significativo quando $\leq 0,05$

Tabela 30 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11004 em função da pressão (bar) de trabalho e da calda pulverizada

Caldas	Pressão									
	1	1,5	2	4	7					
D+RTR	126,7	Ac	137,0	Ab	133,4	Abc	153,4	Aa	150,3	Aa
D+RTR+32	97,5	Bd	106,6	Bc	113,1	Bc	127,4	Cb	140,3	Ba
D+RTR+31+21	80,8	Cd	87,8	Cd	98,2	Cc	120,0	CDb	136,5	Ba
D+RTR+31+02	78,5	Ce	88,1	Cd	97,6	Cc	114,3	Db	136,0	Ba
D+RTR+31+10	129,9	Ac	137,3	Abc	135,0	Abc	142,3	Bb	151,6	Aa

*médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Figura 34 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11004 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada



*letras minúsculas comparam pressões para um mesmo nível do fator calda e maiúsculas comparam as caldas para um mesmo nível do fator pressão. Letras distintas identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 31 – Resultado da análise de variância (ANOVA) para o ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11005 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada

Fatores	F	p. valor	Significância
Calda	665,89	<0,01	Significativo
Pressão	547,2	<0,01	Significativo
Calda x Pressão	28,25	<0,01	Significativo
Coeficiente de variação (%)		2,11	

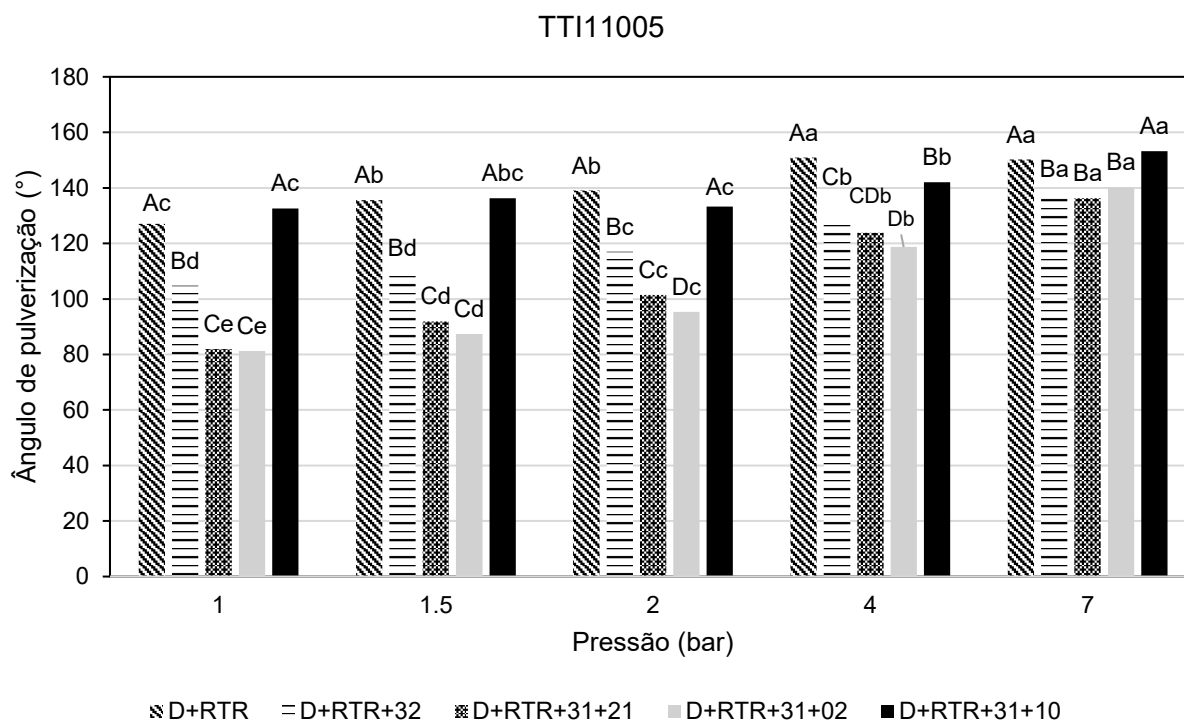
*F- indica o resultado do cálculo da ANOVA e o p valor a significância do fator em estudo, sendo significativo quando $\leq 0,05$

Tabela 32 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11005 em função da pressão(bar) de trabalho e da calda pulverizada

Caldas	Pressão									
	1		1,5		2		4		7	
D+RTR	127,1	Ac	135,6	Ab	139,0	Ab	150,9	Aa	150,2	Aa
D+RTR+32	104,8	Bd	109,4	Bd	117,0	Bc	128,1	Cb	137,8	Ba
D+RTR+31+21	81,9	Ce	91,9	Cd	101,4	Cc	123,8	CDb	136,3	Ba
D+RTR+31+02	81,3	Ce	87,4	Cd	95,3	Dc	118,7	Db	140,2	Ba
D+RTR+31+10	132,6	Ac	136,3	Abc	133,3	Ac	142,0	Bb	153,2	Aa

*médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Figura 35 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização TTI 11005 em função da pressão de trabalho e da calda pulverizada



*letras minúsculas comparam pressões para um mesmo nível do fator calda e maiúsculas comparam as caldas para um mesmo nível do fator pressão. Letras distintas identificam diferença estatística pelo teste Tukey com $p < 0,05$

Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Como forma de facilitar a visualização do impacto da pressão de trabalho e das vazões ISO das pontas em cada tipo de calda, as Tabelas 33 a 37 e as Figuras 36 a 40 sintetizam os resultados. Observa-se nos gráficos de superfície, que os ângulos mais próximos da especificação do fabricante das pontas (110°) estão posicionados em uma situação intermediária na faixa de pressões, para todas as vazões avaliadas. Esta situação é apresentada pela superfície de cor laranja nos gráficos, a qual representa a faixa de ângulo do jato entre 100 e 120 graus. Desta forma, entende-se que a maior uniformidade de distribuição será alcançada na faixa intermediária de pressão nas pontas.

Ângulos de pulverização mais amplos (120° - 130°) proporcionam uma distribuição uniforme durante a aplicação, mesmo quando há variação na altura da barra em relação ao alvo. Isso significa que eles são mais tolerantes às oscilações na altura da barra, muitas vezes causadas pela irregularidade do terreno. Por outro lado, ângulos de abertura mais estreitos demandam uma altura maior da barra e são mais suscetíveis a essas variações (Boller *et al.*, 2019).

Observando-se as diferentes caldas, é possível verificar que a calda com o adjuvante 32 é aquela com a maior área aparente de cor laranja dentre os 5 gráficos de superfície (Figuras 36 a 40), indicando que esta calda terá maior probabilidade de oferecer melhor uniformidade de distribuição. As situações em que o ângulo do jato de pulverização, é muito menor do que o especificado pelo fabricante, são aquelas onde se deve esperar maiores dificuldades de oferecer uma aplicação uniforme.

Neste caso, a análise dos gráficos também confirma que este problema será mais intenso nas caldas com os adjuvantes 21 e 02, cujas áreas de superfície na cor azul (jato de pulverização ente de 80 a 100 graus) são visualmente muito maiores do que nas demais caldas. O maior ângulo pode indicar uma maior faixa de aplicação, ou seja, maior sobreposição com outro jato sendo possível maior espaçamento entre pontas e menor volume de calda gasto por área aplicada.

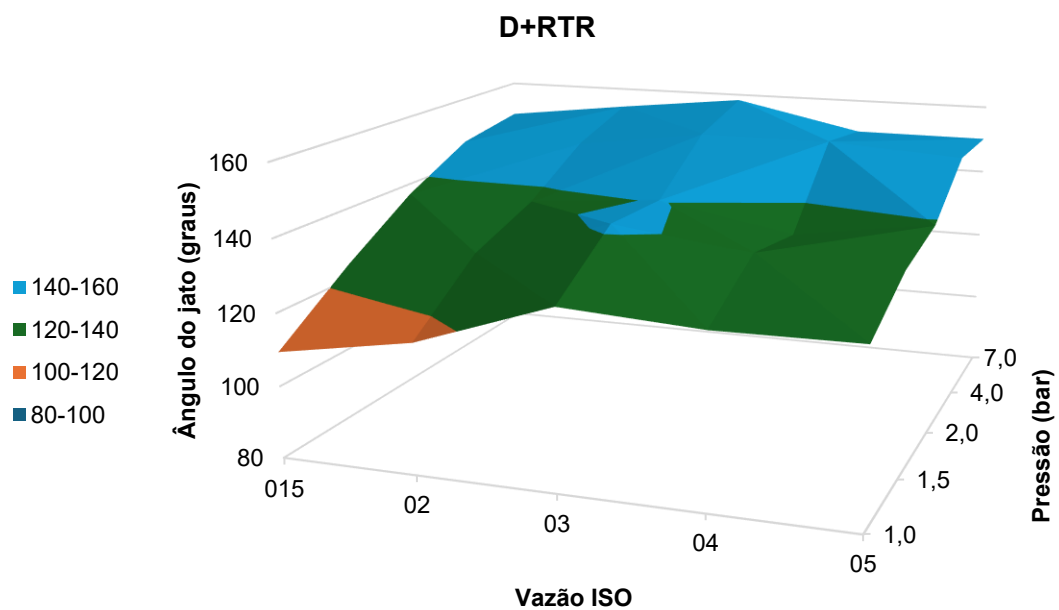
Em contrapartida, o maior ângulo de jato pode ser prejudicial em espaçamentos menores ocasionando acúmulo de calda na região central podendo ocasionar perdas financeiras e toxidez de culturas devido ao aumento da dose recomendada.

Tabela 33 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR

Vazão	Pressão				
	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0
015	109,4*	124,1	137,0	146,5	149,7
02	115,8	130,6	137,4	148,3	154,2
03	128,9	141,7	140,5	153,3	158,3
04	126,7	137,0	133,4	153,4	150,3
05	127,1	135,6	139,0	150,9	150,2

*Cores: Laranja = 100 - 120°. Cinza = 120 - 140°. Amarelo = 140 - 160 °.

Figura 36 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR



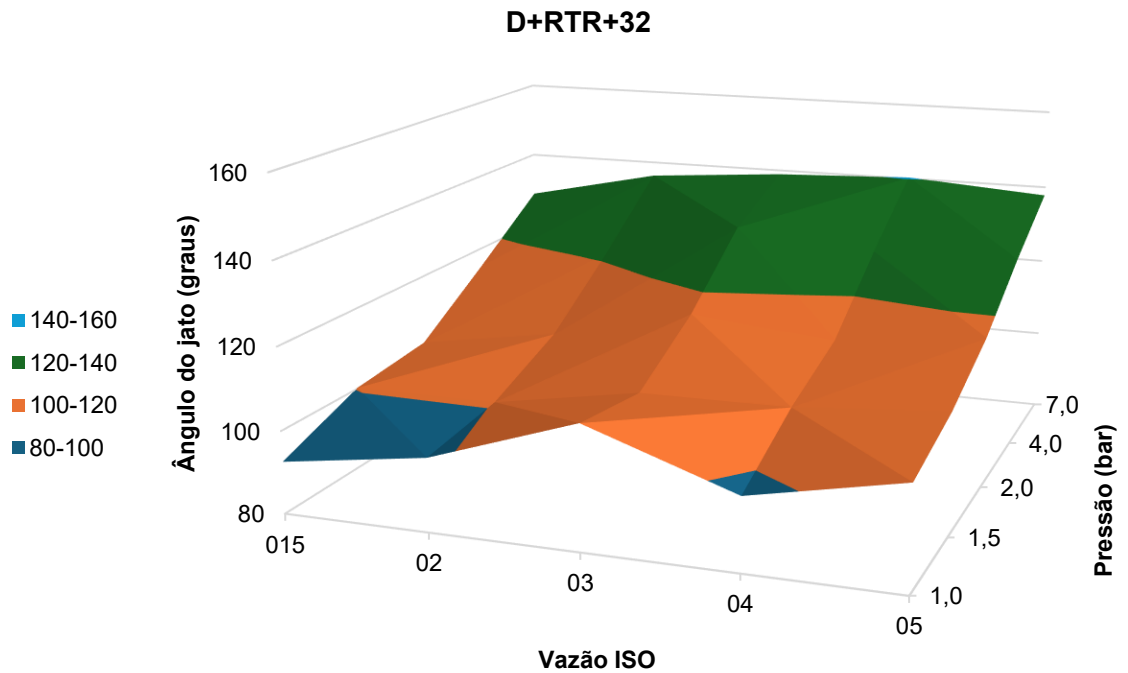
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 34 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+32

Vazão	Pressão				
	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0
015	92,6*	100,2	102,4	115,2	128,6
02	97,7	100,3	108,0	121,4	136,2
03	109,7	106,3	116,5	131,1	138,9
04	97,5	106,6	113,1	127,4	140,3
05	104,8	109,4	117,0	128,1	137,8

*Cores: Azul = 80 – 100°. Laranja = 100 - 120°. Cinza = 120 - 140°. Amarelo = 140 - 160 °.

Figura 37 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+32



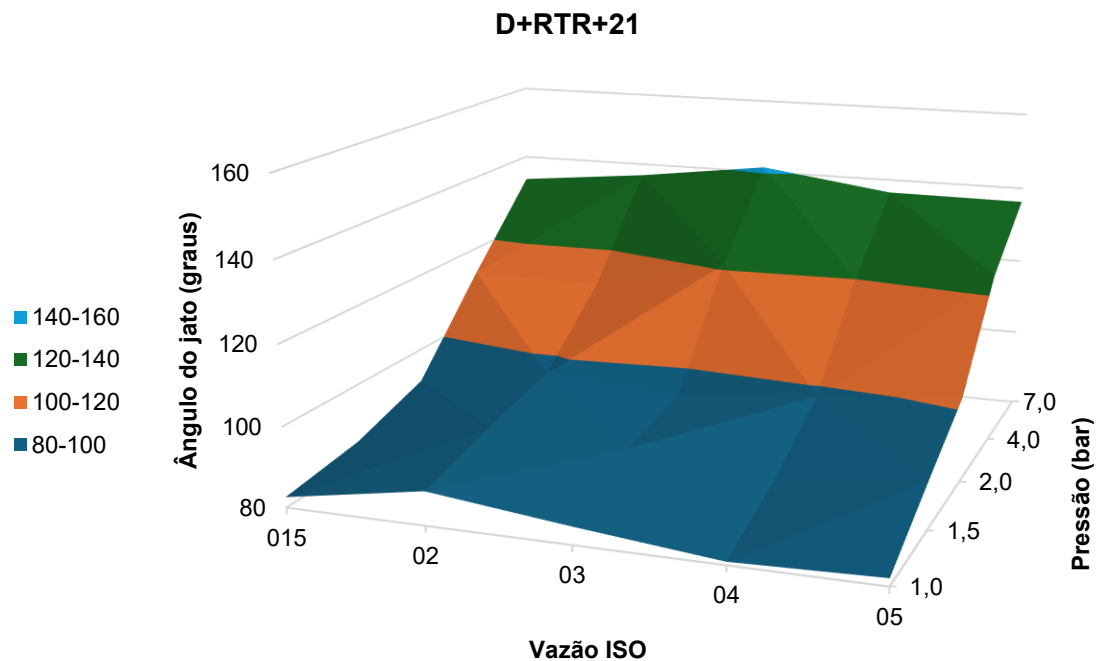
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 35 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+21

Vazão	Pressão				
	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0
015	82,6*	85,3	91,4	113,1	133,4
02	88,4	93,1	97,0	112,8	136,8
03	84,4	91,6	94,9	121,1	141,3
04	80,8	87,8	98,2	120,0	136,5
05	81,9	91,9	101,4	123,8	136,3

*Cores: Azul = 80 – 100°. Laranja = 100 - 120°. Cinza = 120 - 140°. Amarelo = 140 - 160 °.

Figura 38 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+21



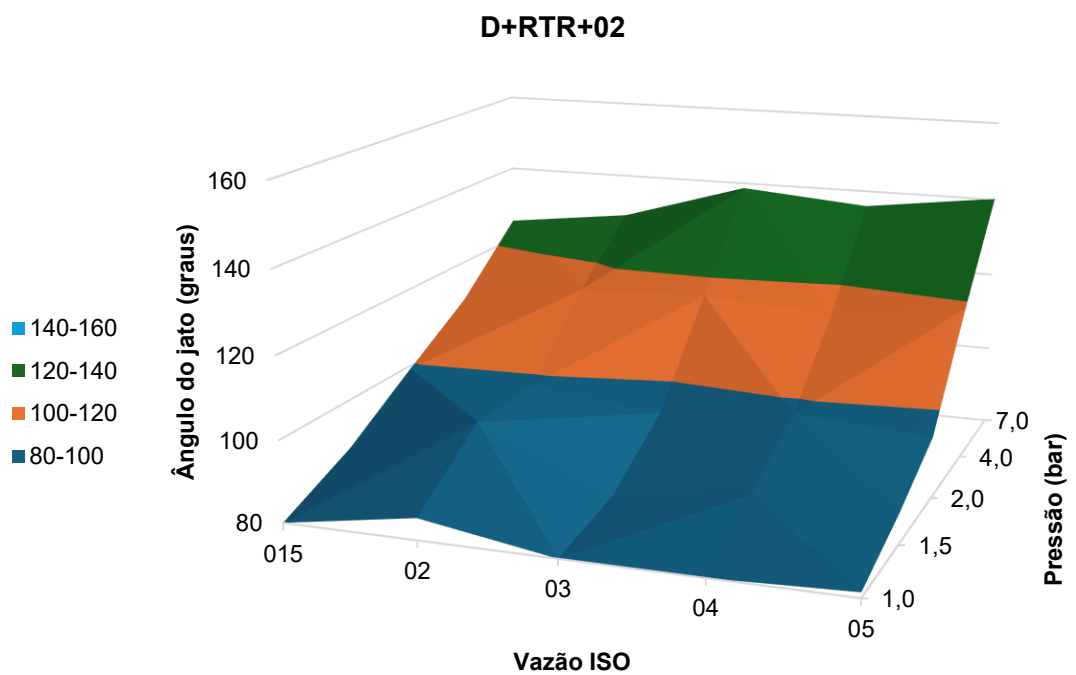
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 36 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+02

Vazão	Pressão				
	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0
015	72,7	88,0	99,2	109,8	125,0
02	85,3	98,1	98,4	115,3	128,9
03	72,4	83,4	94,3	116,4	138,7
04	78,5	88,1	97,6	114,3	136,0
05	81,3	87,4	95,3	118,7	140,2

*Cores: Azul = 80 – 100°. Laranja = 100 - 120°. Cinza = 120 - 140°. Amarelo = 140 - 160 °.

Figura 39 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+02



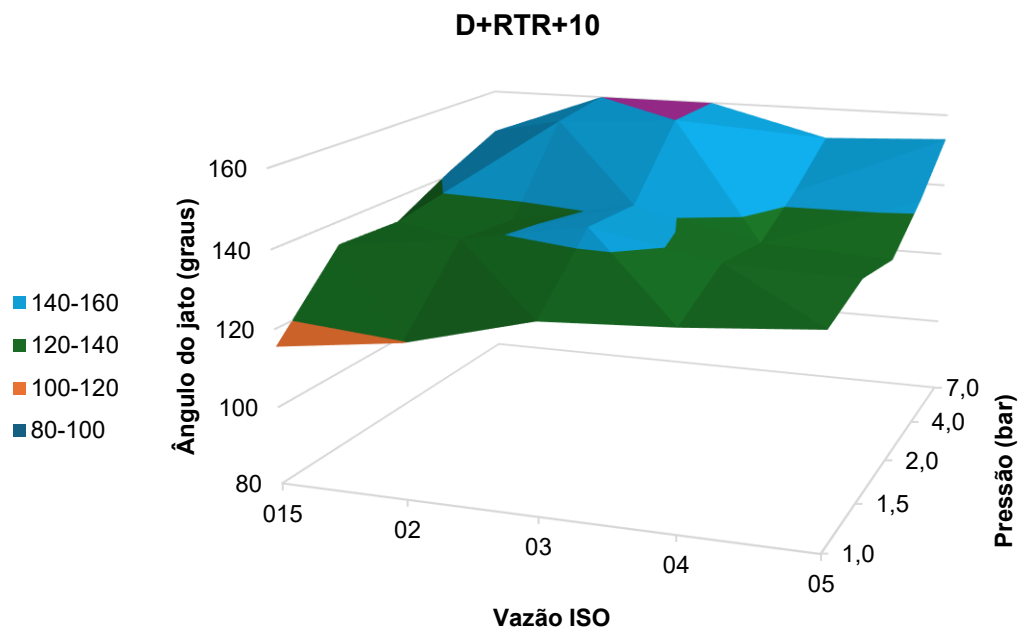
Fonte: AgroEfetiva, (2023).

Tabela 37 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+10

Vazão	Pressão				
	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0
015	115,5*	134,0	133,2	141,2	147,9
02	119,7	138,0	136,2	157,9	168,1
03	128,2	143,7	142,6	160,2	168,7
04	129,9	137,3	135,0	142,3	151,6
05	132,6	136,3	133,3	142,0	153,2

*Cores: Azul = 80 – 100°. Laranja = 100 - 120°. Cinza = 120 - 140°. Amarelo = 140 - 160 °.

Figura 40 – Ângulo de abertura da ponta de pulverização (em graus) em função da vazão ISO da ponta TTI e da pressão de trabalho (bar), para a calda D+RTR+10



Fonte: AgroEfetiva, (2023).

4.4 Discussão Experimento 2

A interação entre a composição da calda e a pressão de trabalho demonstrou ser de suma importância para a otimização da pulverização do dicamba em diversos cenários agrícolas. Os baixos coeficientes de variação obtidos nos experimentos indicaram uma consistência notável nos dados, o que é essencial para assegurar a qualidade da aplicação. A uniformidade da pulverização e o ângulo de pulverização emergem como índices críticos para avaliar a eficácia das técnicas de aplicação.

A análise dos dados coletados revelou que tanto a composição da calda quanto a pressão de trabalho exercem influência significativa sobre o ângulo de pulverização das pontas TTI. De acordo com a norma ISO 5682-1, a avaliação do desempenho de equipamentos de pulverização deve incluir a medição do ângulo de pulverização em relação a um ângulo de referência de 0° (ISO, 2017).

Os ângulos de abertura do jato são medidos a partir deste ponto de referência, tanto para a vertical quanto para a horizontal. A norma especifica que as medições devem ser realizadas sob condições controladas, incluindo a pressão de trabalho e a viscosidade do líquido pulverizado, a fim de garantir a consistência e a eficácia da aplicação (ISO, 2017).

Os dados indicaram que os ângulos de abertura aumentavam significativamente com a elevação da pressão. Especificamente, nas pontas TTI 110015, 11002, 11003, 11004 e 11005, foi observado que, ao aumentar a pressão de 1 bar para 7 bar, os ângulos de abertura se ampliaram, corroborando as recomendações normativas que sugerem medições em diferentes pressões para assegurar a eficácia da aplicação.

Pesquisas anteriores corroboram essas observações, estudos realizados com as pontas LA1JC e SR-1 sob pressão de 100 kPa revelaram que ambas apresentaram características condicionadas à vazão nominal e ao ângulo de abertura, além de proporcionar um perfil de distribuição contínuo (Viana *et al.*, 2007). Um padrão semelhante foi encontrado em experimentos utilizando a ponta TT11002 na mesma pressão (Freitas *et al.*, 2005). Esses resultados destacam a importância de ajustar a pressão para maximizar a eficiência da pulverização.

Além disso, Viana *et al.*, (2007) observaram que, na menor pressão avaliada (100 kPa), houve uma homogeneidade com maiores coeficientes de variação durante a sobreposição dos jatos, resultando em uma faixa de aplicação reduzida e menor movimento das gotas em direção às extremidades. Em contrapartida, o aumento da

pressão promoveu um maior deslocamento das gotas para as extremidades, consequência do aumento do ângulo do jato e da redução no tamanho das gotas, resultando em uma ampliação da faixa de aplicação (Viana *et al.*, 2010).

As características da calda de pulverização também desempenham um papel crucial na determinação do ângulo de pulverização. A composição e a utilização de adjuvantes, como o óleo presente no adjuvante 10, levaram a ângulos de pulverização consistentemente superiores a 110° em diversas pressões. Essa observação sugere que a natureza oleosa desse adjuvante favorece uma distribuição mais uniforme do jato, o que é relevante para garantir uma aplicação eficiente (Hart *et al.*, 2007).

Por outro lado, adjuvantes como os polímeros 21 e 02 resultaram em ângulos de pulverização significativamente inferiores. Embora esses polímeros possam aumentar a adesão do produto à superfície, sua presença pode interferir na dinâmica do jato pulverizado, resultando em uma possível falta de sobreposição durante a aplicação (Barry *et al.*, 2008). Esse fenômeno sugere que, apesar de suas propriedades vantajosas, os polímeros utilizados nas caldas analisadas não otimizaram a performance do jato, resultando em uma aplicação menos eficaz.

O adjuvante 32, composto por goma guar, também demonstrou um desempenho insatisfatório em termos de ângulo de pulverização. Suas propriedades espessantes podem alterar a viscosidade da calda, aumentando a resistência ao fluxo e prejudicando a formação do jato, o que compromete a cobertura da superfície (Carrijo *et al.*, 2010).

Spanoghe *et al.*, (2007) enfatizam que a adição de polímeros à calda de pulverização pode reduzir o ângulo de pulverização, aumentando a viscosidade extensional inicial e diminuindo a viscosidade de cisalhamento.

Os polímeros do tipo polissacarídeos têm a capacidade de aumentar a viscosidade da calda, mesmo em baixas concentrações. Esse aumento na viscosidade e as interações entre os polímeros resultam em um filme líquido mais espesso abaixo do orifício de saída da ponta (Lewis *et al.*, 2016). O movimento das ondas que precedem a ruptura do líquido é atenuado, levando a uma ruptura mais lenta do filme, que provoca um aumento no tamanho das gotas e uma diminuição no ângulo de abertura do jato. Portanto, a elasticidade da calda de pulverização afeta diretamente a eficiência da aplicação, resultando em um ângulo de pulverização reduzido (Lewis *et al.*, 2016).

Essa modificação contribui para a formação de gotas mais grossas e diminui a fração de gotas suscetíveis à deriva. Embora os adjuvantes poliméricos possam melhorar o desempenho das soluções de produtos fitossanitários, concentrações elevadas podem provocar o colapso do jato de pulverização, resultando em um jato sólido de baixa cobertura, o que é indesejável (Spanoghe *et al.*, 2007). Adjuvantes da classe dos polímeros tendem a diminuir a quantidade de gotas finas durante a pulverização (Antuniassi *et al.*, 2019). Essa diminuição na fração de gotas finas pode resultar em um aumento do DMV e consequente redução do ângulo de abertura do jato de pulverização (Viana *et al.*, 2010).

A compreensão das interações entre a composição da calda, a pressão de pulverização e as características dos adjuvantes é importante para maximizar a eficiência das aplicações agrícolas. O ajuste cuidadoso desses fatores pode levar a uma pulverização mais uniforme e eficaz, reduzindo desperdícios e melhorando a eficácia dos defensivos agrícolas.

5 CONCLUSÃO

Os experimentos demonstraram que a escolha dos adjuvantes redutores de deriva e a pressão de aplicação influenciam significativamente o comportamento do espectro de gotas na pulverização de herbicidas. O adjuvante 32 (Guar) produziu gotas mais grossas e homogêneas em altas pressões, enquanto os adjuvantes 21 e 02 foram mais eficazes em baixas pressões, resultando em menores diâmetros de gotas. A análise do percentual de gotas menores que 150 μm evidenciou que pressões elevadas aumentam a suscetibilidade à deriva.

A interação entre a composição da calda e a pressão também afetou o ângulo de pulverização, sendo o adjuvante 10 o mais eficiente na manutenção de ângulos de pulverização adequados. Esses achados ressaltam a importância da seleção adequada do adjuvante e da otimização das condições de aplicação para maximizar a eficácia e reduzir impactos ambientais, sugerindo a necessidade de investigações adicionais sobre as interações entre variáveis nas práticas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ABOUZIENA HFH, SHARMA SD, SINGH M. Impact of adjuvants on bentazon efficacy on selected broad leaf weeds. **Crop Prot.** v.28, n.12, p.1081_5, 2009.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R. D. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.693-702, 2018.
- ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. et al. **Entendendo a tecnologia de aplicação: Caldas fitossanitárias e descontaminação de pulverizadores**. 1. a ed. Botucatu (SP): FEPAF, 2019.
- ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, p. 221-229, 2011.
- BACCHI, M. A.; SIQUEIRA, D. L. Adjuvantes na aplicação de defensivos agrícolas: Princípios, práticas e legislação. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.7, n.1, p.45-58, 2018.
- BALSARI, P.; GRELLA, M.; MARUCCO, P.; MATTA, F.; MIRANDA-FUENTES, A. Assessing the influence of air speed and liquid flow rate on the droplet size and homogeneity in pneumatic spraying. **Pest Manag. Sci.**, v.75, p.366–379, 2018.
- BARRY, K. J.; MCKINLAY, R. G.; EWAN, M. A. Impact of spray application dynamics on pesticide efficacy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.110, n.1, p.44-52, 2008.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. D. A. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.546-551, 2006.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, Cambridge, UK, v. 27, n. 5, p. 486-493, 1979.
- BISH, M.; FARRELL, S.; LERCH, R.; BRADLEY, K. Dicamba losses to air following applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions. **J. Environ.** v.48, p.1675–1682, 2019.
- BODE, L. E.; BUTLER, B. J.; GOERING, C. E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type, and nozzle pressure. **Transaction American Society of Agricultural Engineer.** v. 19, n. 2, p. 213-218, 1976.
- BOLLER, A.; RIBEIRO, J. R.; SOUZA, A. D. Impact of nozzle angle on spray distribution and efficacy. **Journal of Pesticide Science**, v.44, n.4, p.225-234, 2019.
- BOUSE, L. M., SMITH, R. W., & JONES, P. T. Influence of droplet size on herbicide efficacy. **Pesticide Science**, v.28, n.4, p.411-419, 1990.

BUENO, F. C.; FERREIRA, F. A.; GALLO, P. B. Influência do tamanho das gotas na eficácia de aplicações de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.2, n.2, p.123-130, 2013.

BUTTS, T. R., SAMPLES, C. A.; FRANCA, L. X.; DODDS, D. M.; REYNOLDS, D. B., ADAMS, J. W.; KRUGER, G. R. Droplet size impact on efficacy of a dicamba-plus-glyphosate mixture. **Weed Technology**, v.33, n.1, p.66-74, 2019.

BUTLER ELLIS, M. C.; BRADLEY, A.; TUCK, C. R; The characteristics of sprays produced by air induction nozzles. In: The british crop protection council conference weeds, Brighton. Proceedings... Surrey: **The British Crop Protection Council**, p.665-70, 2001.

BUTLER-ELLIS, M. C.; TUCK, C. R. The variation in characteristics of air-included sprays with adjuvants. **Aspects of Applied Biology**, v.57, p.155-62, 2000.

CAMPOS, H. B. N. **Tecnologia de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas** (Tese de doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal, 2019.

CARBONARI, C. A.; COSTA, R. N.; GIOVANELLI, B. F.; BEVILAQUA, N. C.; PALHANO, M.; BARBOSA, H.; VELINI, E. D. Volatilization of dicamba diglycolamine salt in combination with glyphosate formulations and volatility reducers in Brazil. **Agronomy**, v.12, n.5, p.1001, (2022).

CARRIJO, D. R., SILVA, A. L., & SANTOS, J. M. Efeito de adjuvantes na viscosidade e na eficiência de aplicação de pesticidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.3, n.1, p.55-62, 2010.

CHAIM, A. Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Documento 57, **Embrapa**. 2006.

CHECHETTO, R. G. **Métodos de coleta de deposição para ensaios de deriva em aplicações aéreas**. (Tese de doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização, **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 27, n.3, p.130-142, 2012.

CHRISTOFOLETTI, P. T. A importância da escolha das pontas de pulverização na aplicação de agroquímicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.2, n.1, p.15-20, 1999.

CIUBERKIS, S.; BERNOTAS, S.; RAUDONIS, S.; FELIX, J. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. **Weed Technology**, v.21, n.1, p.213-218, 2010.

COMBELLACK, J. H.; MILLER, P. C. H.; TUCK, C. R.; CHRISTIAN, C. B. Some performance characteristics of a novel design of twin fluid nozzle, **Aspects of Applied Biology**, n.66, p.237-243, 2002.

- CORDON, J. M.; NAVARRO, J.; BORRERO, J. Assessment of herbicide application techniques in different environmental conditions. **Agricultural Sciences**, v.7, n.6, p.485-493, 2016.
- CREECH, C.F.; HENRY, R.S.; FRITZ, B.K.; KRUGER, G.R. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed Technol**, v.29, p. 298–310, 2015.
- CUNHA J. P. A. R.; ALVES G. S; MARQUES R.S. Surface tension, hydrogen-ion potential and electrical conductivity in spray solutions of plant protection products and adjuvants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48 n.2, p.1-10, 2017.
- CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v.28, p.1153-1158, 2010.
- CUNHA, J.; ALVES, G. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciencia** v.34, p.655–659, 2010.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R., TEIXEIRA, M. M., COURY, J. R., & FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta daninha**, v.21, p.325-332, 2003.
- CURRAN, W. S.; JOHNSON, W. C. The role of adjuvants in herbicide application. **Weed Technology**, v.13, n.4, p.827-834, 1999.
- DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet, **Cieszyński**, v. 67, n. 2, p.19-25, 2002.
- FAGGION, F. **Desenvolvimento de métodos para estimar a quantidade de ar incluído às gotas por pontas de pulverização com indução de ar.** (Tese de doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- FELSOT, A. S.; LENTZ, K. D. The role of rheology in pesticide formulation and application. **Weed Technology**, v.24, n.2, p.258-267, 2010.
- FERREIRA, P. H. U.; THIESEN, L. V., PELEGRINI, G.; RAMOS, M. F. T., PINTO; M. M. D.; DA COSTA FERREIRA, M. Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.18833, 2020.
- FIETSAM, M.; HATZIOS, K. K.; SCHERER, J. R. Effects of spray nozzle type and adjuvants on glyphosate application. **Weed Technology**, v.18, n.1, p.105-112, 2004.
- FREITAS, F. C. L.; TEIXEIRA, M. M.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A., MACHADO, A. F. L.; VIANA, R. G. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v.23, p.161-167, 2005.

GOMES, A. D. **Estudo de técnicas de indução eletrostática aplicadas a pulverizadores**. Monografia Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2021.

GOSS, W. Understanding spray droplet size and its impact on pesticide application. **Pesticide Application Technology**, 2009.

GRANATO, J. A.; GAVA, R.; JOSÉ, J. V.; DE CASTRO SALVESTRO, A. Influência da Adição de um Adjuvante à calda de Pulverização Aérea Sobre a Faixa de Deposição Total. **Iniciação Científica Cesumar**, v.11, n.2, 2009.

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

HARP, P. R. Dicamba. In Hayes' handbook of pesticide toxicology **Academic Press**. p. 1849-1852, 2010.

HART, S. E.; HATZIOS, K. K.; MCKELLAR, J. Influence of adjuvants on the performance of pesticide applications. **Pesticide Science**, v.63, n.6, p.633-641, 2007.

HARTZLER, B., ANDERSON, W., & KELLS, J. The role of herbicide resistance in weed management. **Weed Technology**, v.31, n.3, p.310-316, 2017.

HEMMINGHAUS, J. W.; MACINNES, A.; ZHANG, J. Inventores; Monsanto Technology LLC, Assignee Low Volatility Herbicide Compositions. **US Patent** 9,743,664 B2, 2017.

HEWITT, A. J.; STERN, A. J.; BAGLEY, W. E.; DEXTER, R. in Pesticide Formulations and Application Systems: Global Pest Control Formulations for the Next Millennium Vol. 19 (Eds: R.S. Tann, J. D. Nalewaja, A. K. Viets), **ASTM International**, Mayfield, USA, p. 135, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.. ISO 5682-1: Equipment for crop protection - **Methods for the assessment of the performance of equipment for spraying** - Part 1: Spraying equipment for the application of plant protection products, 2017.

JOHNSON, R. J., & SWETNAM, T. L. Nozzle selection and its impact on pesticide application efficiency. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v.2, n.2, p. 131-140, 1996.

KISSMANN, K.G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: **Anais do 21º Congresso Brasileiro de Ciência das Plantas Daninhas**. Caxambu. Palestras e mesas redondas... Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, p. 61-77,1997.

KRUGER, G. R.; DAVIS, V. M.; WELLER, S. C.; JOHNSON, W. G. Control of Horseweed (*Conyza canadensis*) with Growth Regulator Herbicides. **Weed Technology**, 24(04), 425–429, 2010.

LANGARO, A. C.; NOHATTO, M. A.; PERBONI, L. T.; TAROUCO, C. P.; AGOSTINETTO, D. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 40-46, 2014.

LEWIS, G. S.; JOHNSON, B. J.; MILLER, R. S. Rheological properties and their impact on spray application. **Transactions of the ASABE**, v.59, n.3, p. 683-691. 2016.

LEWIS, R. W.; EVANS, R. A.; MALIC, N.; SAITO, K.; CAMERON, N. R. Polymeric drift control adjuvants for agricultural spraying. **Macromolecular Chemistry and Physics**, v.217, n.20, p.2223-2242, 2016.

LONG, J.L. Influence of Application Factors on Dicamba Volatility. Ph.D. Thesis, Purdue **University, West Lafayette**, IN, YSA, 2017.

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

MCMULLAN, P. M. **Weed Technol**, v.14, p.792, 2000.

MERCIER, H. Auxinas. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: **Editora Guanabara Koogan Ltda**, p. 182-211, 2008.

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

MONIZ, A. **Cobertura das folhas de soja utilizando diferentes pontas de pulverização**. Dissertação, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis** (5th ed.). Wiley, 2012.

MORAES, A. R.; SILVA, M. G.; SANTOS, J. M. Análise da uniformidade de tamanhos de gotas em aplicações de pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.267-273, 2012.

MOREIRA, R. B. **Espectro de gotas e índice de deriva de diferentes pontas com indução de ar na pulverização de associações de dicamba com glifosate**. (Tese de doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, p.1-5, 2013.

MUELLER, T.C.; STECKEL, L.E. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment. **Weed Technology**. v.33, p.541–546, 2019.

MUELLER, T.C.; WRIGHT, D.R.; Remund, KM Effect of formulation and time of day of application on airborne dicamba detection under field conditions. **Weed Science**. v.61, p.586–593, 2013.

MUNDT, T. T. **Dinâmica e eficácia do herbicida dicamba quando aplicado no sistema solo e palha**. (Dissertação de Mestrado), à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, 2021.

NISHIMURA, J.; GAZZO, K.; ROBERT, B. Environmental Fate and Toxicology of Dicamba; Technical report; Department of Pesticide Regulation, California **Environmental Protection Agency**: Sacramento, SA, USA, 2015.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; SONCK, B. Comparison between indirect and direct spray drift assessment methods. **Biosystems Engineering**, v.105, n.1, p.2-12, 2010.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering** v. 97, n.3, p.333-345, 2007.

OLIVEIRA, R. B; ANTUNIASSI, U. R; GANDOLFO, M A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 109- 116, 2015.

PERECIN, D.; PERESSIN, V. A.; MATUO, T.; BRAZ, B. A; PIO, L. C. Padrões de distribuição de líquidos obtidos com bicos TF-VS4, TJ60-11006 e TQ15006 em mesa de prova. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 175–182, 1998.

PEREIRA NETO, A. Estudo sobre a química e a eficácia do glifosato na agricultura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.15, n.2, p.123-134, 2021.

POLLI, E. G.; ALVES, G. S.; DE OLIVEIRA, J. V.; KRUGER, G. R. Physical–chemical properties, droplet size, and efficacy of dicamba plus glyphosate tank mixture influenced by adjuvants. **Agronomy**, v.11, n.7, p.1321, 2021.

PORTO, J.D.; MESSERSMITH, C. G.; RAMSDALE, B.K. Surfactants affect herbicides on kochia (*Kochia scoparia*) and Russian thistle (*Salsola iberica*). **Weed Science**. v.51, p.430–434, 2003.

PRIVITERA, S.; MANETTO, G.; PASCUZZI, S.; PESSINA, D.; CERRUTO, E. Drop Size Measurement Techniques for Agricultural Sprays: A State-of-The-Art Review. **Agronomy**, v.13, n.3, p.678, (2023).

RAETANO, C. G.; CHECHETTO, R.G. **Adjuvantes e Formulações. Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu (SP): FEPAF, Cap. 2. p. 29-47, 2019.

READE, J. P. H.; COBB, A. H. Herbicides: Modes of Action and Metabolism. In: NAYLOR, R. E. L. **Weed Management Handbook**. 9ª ed. Bachory: Blackwell Publishing, p. 134-170, 2002.

RITER, C.; SMITH, J.; BROWN, T. Impacts of dicamba on crop management and weed control. **Pesticide Management Science**, v.77, n.12, p.5305-5315, 2021.

RITER, L. S.; PAI, N.; VIEIRA, B. C.; MACINNES, A.; REISS, R.; HAPEMAN, C. J.; KRUGER, G. R. Conversations about the future of dicamba: the science behind off-target movement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.69 n.48, p.14435-14444, 2021.

RODRIGUES, G. J. **Critérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho-mineiro do cafeeiro.** (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa. 2005.

ROMÁN, R. A. A.; FERREIRA, M. C.; CARVALHO, G. F. G.; BAGGIO, M. V. Spraying distribution, symmetry of fan and droplet size to spray nozzles TF-VS2. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 897–905, 2010.

RUSSELL, K. R.; DOTRAY, P. A.; PABUAYON, I. L.; RITCHIE, G. L. Dicamba effects on fruiting in sensitive cotton. **Weed Technology**, v. 35, n.1, p. 43-48, 2021.

SANTOS, R.O. **Níveis de deposição de produtos líquidos com aplicação aérea utilizando adjuvantes.** 2007. (Dissertação de mestrado) (Mestrado em Máquinas e Automação Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SOARES, A. M.; FERREIRA, M. D. C. Perfil de distribuição do jato de pulverização em função do uso de adjuvante na calda inseticida. In: **Anais VI SINTAG – Simpósio Internacional de Tecnologia da Aplicação**, 2013.

SOMERVILLE, A.; BETTS, G.; GORDON, B.; GREEN, V.; BURGIS, M.; HENDERSON, R. Adjuvants—Oils, Surfactants and Other Additives for Farm Chemicals; Revised 2012 Edition; Australian Government. **Grains Research & Development Corporation**: Barton, Australia, p.52, 2012.

SPANOGHE, P.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VAN DER MEEREN, P.; STEURBAUT, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v.63 n.1, p.4-16, 2007.

SPILLMAN, J.J. Spray impaction, retention and adhesion: an introduction to basic characteristics. **Pestic Sci** v.15, p.97–106, 1984.

TEEJET TECHNOLOGIES. **Catálogo 51A-PT.** p. 164, 2014. Acesso em: 04 jan. 2024.

TEEJET TECHNOLOGIES. **TTI nozzle: Performance characteristics and application guidelines**, 2014.

THEBALDI, M. S., DOS REIS, E. F., GRATÃO, P. T., & SANTANA, M. S. Efeito da adição de adjuvante na redução de deriva em pontas de pulverização tipo cone vazio. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.18, n.2, p.1-6, 2009.

TIMMONS, F.L. A history of weed control in the United States and Canada. **Weed Sci** v. 53, p. 748–761, 2005.

TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M. et al. Weed control methods handbook the nature conservancy. **Davis: TNC**. p. 1-24, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Over-the-top dicamba products for genetically modified cotton and soybeans: benefits and impacts. **Washington, DC**. p.25, 2020.

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

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; FREITAS, F. C. L., QUIRINO, A. L. S.; SANTOS, M. V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, v.25, p.211-218, 2007.

WERLE, R.; OLIVEIRA, M. C.; JHALA, A. J.; PROCTOR, C. A.; REES, J.; KLEIN, R. Survey of Nebraska farmers' adoption of dicamba-resistant soybean technology and dicamba off-target movement. **Weed Technology**, v.32, n.6, p.754-761, 2018.

WOMAC, A. R.; HANKS, R. J.; BEASLEY, J. W. Application technology: The impact of nozzle selection on pesticide performance. **Pesticide Management Science**, v.51, n.4, p.305-314, 1997.

YATES, W.; COWDEN, R. E.; AKESSON, N. Drop size spectra from nozzles in high-speed airstreams. Transaction. **American Society of Agricultural Engineer**. v. 28, p. 405-410, 1985.

YU, Y. A. N. G.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, v.104, n.3, p.324-334, 2009.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 5th ed. Prentice Hall, 2010.

ZENG, R., LIU, W., & YANG, X. Evaluation of herbicide resistance and its management in crop systems. **Agronomy Journal**, v.111, n.2, p.509-518, 2019.

ZINK, K., KEARNEY, M., & BAIRD, J. Influence of droplet size on the effectiveness of herbicide applications in agricultural systems. **Journal of Agricultural Science**, v.12, n.3, p.45-58, 2020.