

MATEUS FRANCISCO PAES DE QUEIROZ

**DERIVA E ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR,
NA PULVERIZAÇÃO DE 2,4-D ISOLADO E EM MISTURA COM GLYPHOSATE**

Botucatu

2022

MATEUS FRANCISCO PAES DE QUEIROZ

**DERIVA E ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR,
NA PULVERIZAÇÃO DE 2,4-D ISOLADO E EM MISTURA COM GLYPHOSATE**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura)**

**Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha
Antuniassi**

Botucatu

2022

Q3d

Queiroz, Mateus Francisco Paes de

Deriva e espectro de gotas de pontas com e sem indução de ar, na pulverização de 2,4-D isolado e em mistura com glyphosate / Mateus Francisco Paes de Queiroz. -- Botucatu, 2022

58 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. Herbicidas. 2. Glyphosate. 3. Agricultura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DERIVA E ESPECTRO DE GOTAS DE PONTAS COM E SEM INDUÇÃO DE AR, NA PULVERIZAÇÃO DE 2,4-D ISOLADO E EM MISTURA COM GLYPHOSATE

AUTOR: MATEUS FRANCISCO PAES DE QUEIROZ

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

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

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

Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI (Participação Presencial)
FCA/UNESP / Botucatu/SP

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

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

Botucatu, 02 de maio de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Queiroz e Fátima pelos exemplos de caráter que são e pela confiança e apoio em minhas escolhas. À minha madrastra Nádia por estar sempre presente em minha vida. Aos meus irmãos César, Michel e Daniel, cada um de vocês me inspirou de uma maneira para vencer as batalhas da vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi pelos aconselhamentos, ensinamentos e oportunidades durante todo o mestrado.

Aos muitos amigos que Botucatu me deu, desde os tempos de graduação até os dias de hoje.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas pela minha formação como engenheiro agrônomo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A deriva dos herbicidas 2,4-D e glyphosate podem causar prejuízos quando atingem culturas suscetíveis. Como estratégia de tornar a utilização do herbicida 2,4-D mais segura, foi desenvolvida uma nova formulação (sal colina) com tecnologia de redução de deriva. Além da formulação, o risco de deriva sofre interferência principalmente do modelo de ponta de pulverização utilizado, sendo o componente responsável pela formação das gotas. Há no mercado diversas opções de modelos e fabricantes de pontas que produzem modelos de pontas equivalentes, sendo enquadradas no mesmo grupo, como jato plano com indução de ar, por exemplo. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização do risco de deriva e o espectro de gotas de diferentes pontas de jato plano com e sem indução de ar na pulverização de 2,4-D, aplicados de maneira isolada e em associação com três formulações de glyphosate e verificar o potencial e redução de deriva da formulação Colex-D®. As pontas utilizadas foram Teejet XR 11002 e AIXR 11002, Jacto AXI 11002 e CVI 11002, Pentair VP 11002 e GA 11002 e Magnojet BD 11002 e AD-IA 11002. Os tratamentos foram submetidos à pressão de 280 kPa e volume de aplicação de 80 L ha⁻¹. A análise do espectro de gotas foi feita por um analisador de partículas em tempo real, determinando o diâmetro mediano volumétrico (DMV) e percentual de gotas menores que 105 µm (V105). O índice de deriva (ID) foi determinado em túnel de vento com adição de um traçador à calda. Os resultados foram comparados com as pontas selecionadas como referência (XR 11002 e AIXR 11002, Teejet, Co.). As aplicações com pontas de pulverização consideradas similares não terão o mesmo comportamento mesmo se pulverizada a mesma calda. A recomendação mais segura, considerando o índice de deriva de pontas com indução de ar para aplicação da mistura 2,4-D e glyphosate foi Enlist® Colex-D® + Zapp QI 620 e ponta Magnojet 11002 AD IA, enquanto a menos segura foi DMA 806 BR + Glizmax Prime e ponta Teejet 11002 AIXR. As pontas de pulverização sem indução de ar não devem ser consideradas para aplicação dos herbicidas avaliados.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; pontas de pulverização; plantas daninhas; herbicidas; sal colina.

ABSTRACT

The drift of herbicides such as 2,4-D and glyphosate can cause injuries in many crops. As a strategy to reduce the drift in the application of 2,4-D, a new formulation (choline salt) was developed. Besides the formulation, the drift potential is influenced by the nozzles, which is the main device for droplet formation. There are many manufacturers that produce nozzle types in a same category, for example flat fan with air induction. Despite the nozzles are considered equivalents, different brands may have variations in the droplet spectrum. The aim of this study was to evaluate if there are differences in droplet spectrum and drift risk of nozzles with and without air induction in the pulverization of the herbicides 2,4-D isolated and in mixture with three glyphosate formulations and to verify the potential and reduction of drift of the Colex-D® formulation. The nozzle models used were Teejet XR 11002 and AIXR 11002, Jacto AXI 11002 and CVI 11002, Pentair VP 11002 and GA 11002 and Magnojet BD 11002 and AD-IA 11002. The treatments were conducted at a pressure work of 280 kPa and at a carrier volume rate of 80 L ha⁻¹. The droplet spectra were evaluated using a particle analyzer, and the data analyzed were the median droplet diameter (VMD), driftable fine droplets smaller than 105 µm (V105). The drift risk was evaluated in a wind tunnel from spray solutions prepared with the Brilliant Blue color dye for spectrophotometry. The results were compared with the nozzles set as reference (XR 11002 e AIXR 11002, Teejet, Co.). Applications with spray nozzles considered similar, will not have the same behavior even if sprayed the same tankmix. The safest recommendation considering the drift index of air induction tips for application of the mixture 2,4-D and glyphosate was Enlist® Colex-D® + Zapp QI 620 with 110 02 AD IA Magnojet nozzle, while the least safe was DMA 806 BR + Glizmax Prime and 11002 AIXR Teejet nozzle. Spray nozzles without air induction should not be considered for application of the herbicides evaluated.

Keywords: application technology; spray nozzles; weeds; herbicides; choline salt.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Tecnologia de aplicação	15
2.2	Processo de formação de gotas	16
2.3	Glyphosate e 2,4-D	18
2.3.1	Características do glyphosate	19
2.3.2	Características do 2,4-D.....	21
2.4	Deriva de herbicidas	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Local da pesquisa	24
3.2	Tratamentos e delineamento estatístico	24
3.3	Análise do espectro de gotas.....	27
3.4	Avaliação de índice de deriva	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Espectro de gotas e Índice de Deriva das formulações de 2,4-D.....	35
4.1.1	Espectro de gotas gerados pelas formulações de 2,4-D com as pontas sem indução de ar	35
4.1.2	Espectro de gotas gerados pelas formulações de glyphosate e 2,4-D com as pontas sem indução de ar.....	38
4.2.1	Espectro de gotas gerados pelas formulações de glyphosate e 2,4-D com as pontas com indução de ar.....	42
4.2.2	Espectro de gotas gerados pelas formulações de glyphosate e 2,4-D com as pontas com indução de ar.....	45
5	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O processo de formação de gotas é resultado da interação entre as pontas de pulverização e os defensivos agrícolas, entre outros fatores. Portanto, diferenças na composição das caldas de pulverização podem interferir na formação do espectro de gotas e influenciar no risco de deriva durante a aplicação dos defensivos agrícolas a campo.

Novas formulações de herbicidas estão sendo desenvolvidas na busca do aumento da segurança da pulverização, atuando na formação de um espectro de gotas com menores quantidades de gotas suscetíveis à deriva. Um exemplo disso é a tecnologia de formulação de produtos à base de 2,4-D denominada Colex-D®, desenvolvida a base de sal colina. Estas novas formulações podem apresentar resultados bem melhores em termos de segurança de aplicação se comparadas às formulações antigas. Este fato é de suma importância para a segurança das aplicações em geral, com grande enfoque no mercado de herbicidas, principalmente no caso dos produtos pós-emergentes de uso consagrado e intenso, como o 2,4-D e o glyphosate.

Um fator importante que influencia o resultado de uma pulverização é a escolha do modelo de ponta. Em geral, os modelos com indução de ar formam espectros de gotas mais seguros quanto ao risco de deriva, pois além de apresentar tendência de produzir gotas maiores, geram espectros com menor quantidade de gotas deriváveis na comparação direta com pontas sem indução de ar. Já pontas sem indução de ar tendem a gerar espectros de gotas mais suscetíveis à deriva, gerando maior quantidade de gotas deriváveis.

A interação entre as caldas e as pontas deve ser compreendida para que se escolha a combinação de produtos e pontas mais adequados, seguros e biologicamente eficientes. Considerando os diversos fabricantes de pontas de pulverização, modelos que se enquadram em categorias equivalentes podem apresentar diferenças em sua tecnologia para formação do jato de pulverização, gerando espectro de gotas diferente.

Considerando este contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização do risco de deriva e o espectro de gotas de diferentes pontas de jato plano com e sem indução de ar na pulverização de formulações de 2,4-D com e sem a tecnologia Colex-

D[®], aplicadas de maneira isolada e em associação com diferentes formulações de glyphosate.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação é definida como o conjunto de conhecimentos técnicos e científicos que integram informações sobre os defensivos agrícolas, formulações, adjuvantes, processo de pulverização, alvos e o ambiente de modo que a aplicação atinja o alvo na quantidade adequada, de forma econômica e ambientalmente sustentável, respeitando as boas práticas agrícolas de modo a gerar a mínima contaminação ambiental (MATUO, 1990; RAMOS, 2000; ANTUNIASSI et al., 2017).

Os termos pulverização e aplicação apresentam diferentes definições, apesar de serem utilizados muitas vezes como sinônimo. Christofolletti (1999) definiu pulverização como o fracionamento de um filme líquido em gotas através de um processo mecânico. A principal diferença entre esses termos está no fato de que aplicação se diz do ato de pulverizar um defensivo agrícola sobre um alvo biológico (ANTUNIASSI et al, 2017). Os principais parâmetros que devem ser observados durante a aplicação de defensivos são o ajuste do volume de calda necessário, a seleção de pontas de pulverização que produzam gotas de tamanho adequado e respeitar as condições de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (ANTUNIASSI, 2012).

Com o objetivo de promover uma aplicação segura e eficiente, é necessário o conhecimento das interações entre defensivos agrícolas e as pontas de pulverização. Carvalho (2013) citou que temas como formulações de defensivos, pontas de pulverização, volume de calda e cobertura dos alvos vêm sendo pesquisados, visando estabelecer a combinação mais eficiente entre eles.

Há diversos tipos de formulação de defensivos agrícolas que tem como função promover segurança e facilitar o uso do produto, além de otimizar a atividade biológica do ingrediente ativo e otimizar a persistência dos mesmo sobre o alvo (RAETANO; CHECHETTO, 2019). Além do ingrediente ativo, há outros componentes que interagem durante a pulverização, e formulações mais modernas, principalmente de herbicidas, apresentam substâncias que podem reduzir o risco de deriva quando comparadas às formulações antigas.

Para selecionar a tecnologia de aplicação mais adequada, como modelo de ponta e volume de calda, é necessário conhecer o alvo biológico que se quer controlar e o

tipo de produto utilizado. Dessa forma, é possível adequar o tamanho de gotas e volumes de calda para promover a melhor eficiência e segurança de cada produto aplicado. Para produtos sistêmicos, como glyphosate e 2,4-D, o uso de gotas grossas torna a aplicação mais segura, sem reduzir a eficácia biológica sobre o alvo quando pulverizando com volume de aplicação recomendado (ANTUNIASSI et al., 2017).

Devido à variação no espectro de gotas que pode ocorrer pela interação entre diferentes modelos de pontas e formulações, se mostra necessário compreender esse comportamento através de critérios técnicos (SANTOS, 2007). Queiroz et al. (2016) avaliaram diferentes formulações e mistura de defensivos e concluíram que há interferência na formação do espectro de gotas. Assim sendo, há diversos estudos que buscam entender o comportamento da pulverização através de análises de formação das gotas geradas por diferentes técnicas de aplicação (MOTA et al., 2010; CHECHETTO et al., 2013; BUENO et al., 2013.; OLIVEIRA et al., 2013).

2.2 Processo de formação de gotas

O formato do jato e a vazão da pulverização são determinadas pelas pontas de pulverização e pressão de trabalho. As pontas são consideradas o componente mais importante do pulverizador, sendo responsável pelo bom controle do alvo ou pelo eventual risco de contaminação de áreas não-alvo quando não forem utilizadas de forma adequada, influenciando diretamente na eficácia da pulverização (BAUER; RAETANO, 2004; RAETANO; MOTA, 2019)

O processo para formar as gotas para a aplicação de defensivos agrícolas ocorre pela pressurização da calda através das pontas de pulverização, de modo que ao passar pelo orifício haja a formação de um fino filme líquido, a qual se torna instável até se desintegrar e formar as gotas (MATTHEWS et al., 2014). Este processo é conhecido como pulverização por energia hidráulica (ANTUNIASSI et al., 2017).

Para De Ruiter (2002), a formação das gotas sofre interferência do tipo de calda pulverizada, do modelo da ponta utilizada e da pressão de trabalho, havendo interferência das propriedades das formulações dos defensivos utilizados. Portanto, é preciso compreender essas variáveis e como elas interferem no espectro de gotas formado, apesar das pontas serem a principal parte responsável pelo tamanho das gotas. Mota et al. (2011) citaram que o fato de a ponta ter indução de ar ou não acaba interferindo na interação com os defensivos, modificando o espectro de gotas.

De modo a avaliar o tamanho de gota e sua uniformidade, são utilizados parâmetros do espectro de gotas como diâmetro mediano volumétrico (DMV), $DV_{0,1}$ (diâmetro de gota onde 10% do volume está abaixo do valor do $DV_{0,1}$), $DV_{0,9}$ (diâmetro de gota onde 90% do volume aplicado é constituído de gotas menores que o valor do $DV_{0,9}$), o percentual de gotas deriváveis, podendo ser menores que 100 μm (V100), 105 μm (V105) ou 150 μm (V150), por exemplo, por se tratar de um parâmetro definido de acordo com a necessidade de cada pesquisa e a amplitude relativa (AR) (HEWITT, 2007; FERGUSON; HEWITT, 2014; HEIDARY et al., 2014).

O diâmetro da gota que divide o volume das gotas formadas em duas partes é chamado de diâmetro mediano volumétrico (DMV), em que o volume das gotas acima do DMV é o mesmo das gotas que estão abaixo do DMV (MUGELE; EVANS, 1951; TATE; JANSEN, 1966; GOERING; SMITH, 1978) e a uniformidade do espectro de gotas é calculada pela diferença entre $DV_{0,9}$ e $DV_{0,1}$ dividido pelo DMV, em que o maior valor representa menor uniformidade da pulverização, sendo representada pela amplitude relativa (AR) (CUNHA et al., 2004; SASAKI et al., 2016).

O tamanho das gotas é classificado de acordo com a norma ASABE S572.2 (ASABE, 2018) como extremamente finas, muito finas, finas, médias, grossas, muito grossas, extremamente grossas e ultra grossas. Para determinar em qual classificação uma pulverização se enquadra, são comparados os valores de $DV_{0,1}$, $DV_{0,9}$ e DMV com os obtidos pelas pontas de referência recomendadas pela norma ASABE S572.2, sob o mesmo método de coleta.

Alguns dos parâmetros analisados no espectro de gotas podem indicar o potencial de deriva de uma pulverização. Valores de DMV e V100 apresentam uma correlação com esse potencial, onde o aumento dos valores de V100 e a diminuição dos valores de DMV estão relacionados ao aumento do risco de deriva (ANTUNIASSI et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2015).

Para uma pulverização eficiente, deverão ser utilizadas pontas que formem gotas com menor variação de tamanho e apresentem distribuição uniforme do volume de calda determinado, cobertura satisfatória e baixo risco de deriva, em conjunto com as condições meteorológicas adequadas de temperatura (abaixo de 30°C), umidade relativa do ar (acima de 50%) e velocidade média de vento (entre 3 e 10 km h^{-1}) (JOHNSON; SWETNAM, 1996; ANTUNIASSI; CUNHA, 2019). As condições meteorológicas para aplicação constam em bula e devem ser seguidas quando houver recomendação mas restritiva.

De modo geral, as pontas com a tecnologia de indução de ar formam gotas mais grossas quando comparadas às pontas sem indução de ar e o aumento da pressão também acarretará gotas mais finas. Utilizar pontas de pulverização que formam gotas mais finas aumentam o risco de deriva e essa escolha depende do tipo de produto que está sendo pulverizado. Portanto, o uso de pontas que produzam gotas grossas e pressões mais baixas são estratégias utilizadas para diminuir o risco de deriva (COSTA et al., 2012; SASAKI et al., 2016).

Apesar das pontas serem agrupadas por similaridade, como por exemplo jato plano com indução de ar, as diversas fabricantes desses componentes podem produzir pontas com diferenças, podendo haver variações durante a formação das gotas. Dessa forma, há a necessidade de se comparar pontas em relação ao espectro de gotas e risco de deriva.

2.3 Glyphosate e 2,4-D

O glyphosate e o 2,4-D se destacam por serem os defensivos agrícolas com maior volume de vendas no Brasil. Com o desenvolvimento de variedades resistente a esses herbicidas, torna o uso mais intenso para o controle de plantas daninhas em lavouras já estabelecidas.

Na Tabela 1 estão listados os dez defensivos agrícolas mais comercializados no Brasil em volume de ingrediente ativo. Nota-se que o volume de glyphosate e 2,4-D somados corresponde a pouco menos que o dobro do volume dos outros produtos listados.

Tabela 1 – Volume de vendas de defensivos agrícolas por toneladas de ingrediente ativo

Ingrediente Ativo	Vendas (ton. IA)	Ranking
Glifosato e seus sais	246.017,51	1º
2,4-D	57.597,57	2º
Mancozebe	50.526,87	3º
Atrazina	33.321,11	4º
Acefato	29.982,50	5º
Clorotalonil	24.191,03	6º
Malationa	15.702,11	7º
Enxofre	11.390,90	8º
Imidacloprido	9.401,65	9º
Clorpirifós	8.864,88	10º

Fonte: IBAMA, 2021

2.3.1 Características do glyphosate

O glyphosate é um herbicida pós-emergente pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas e apresenta ação sistêmica, com amplo espectro de controle nas plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (GALLI, 2009). Esse herbicida é utilizado desde 1974 e sua ação não-seletiva, os aspectos toxicológicos e ecotoxicológicos positivos, a facilidade de manuseio e o baixo custo tornaram essa molécula amplamente utilizada na agricultura mundial e brasileira (GALLI, 2009; HALTER, 2009).

A degradação do glyphosate em ácido aminometil fosfônico (AMPA) e dióxido de carbono (CO₂) é feita pelos microrganismos do solo (PRATA et al., 2003). O glyphosate apresenta alta solubilidade em água ($S_w = 11,6 \text{ g L}^{-1}$), baixa hidrofilicidade ($\log K_{ow} = -4,1$) e elevado potencial de sorção às partículas do solo ($K_{oc} = 300$ a 20.100 L kg^{-1}), tendo baixo poder de lixiviação (REGITANO; CASTRO, 2009). Essa molécula apresenta comportamento zwitteriônico, pois sofre influência do pH do meio na sua configuração iônica, podendo apresentar cargas positivas e negativas. Esse comportamento ocorre pela existência de três grupos funcionais ionizáveis: os grupos ácidos fosfônico ($-\text{H}_2\text{PO}_3$) e carboxílico ($-\text{COOH}$) e o grupo básico amina ($-\text{NH}$) em

uma molécula com baixo peso molecular ($C_3H_8NO_5$, 169,1 g mol⁻¹) (REGITANO; CASTRO, 2009).

Esse herbicida age através de rápida absorção inicial pelas estruturas polares existentes na cutícula seguida de absorção simplástica através do floema para diferentes partes da planta, partindo das folhas novas formadoras de açúcares para regiões de dreno dos fotoassimilados, e então para o sítio de ação, onde inibe a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfatase sintase (EPSPs) lenta (WANG 2007; DENIS; DELROT, 2015). A inibição da EPSPs bloqueia a formação de compostos fundamentais da planta, como os aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina e reduz a síntese de proteínas e clorofila, reduz o teor de lignina além de diminuir a produção e concentração de etileno e ácido indol-3-acético (AIA) (STEINRÜCKEN; AMRHEIN, 1980; HERRMANN; WEAVER, 2009; GALLI, 2009). A eficiência da absorção do glyphosate depende da idade da planta, espécie, concentração de herbicida na calda e utilização de surfactantes (MONQUERO et al., 2004).

As formulações de glyphosate interferem no modo que esse herbicida será absorvido pela planta. Formulações de sal de glyphosate, ao invés do ácido, promovem melhor solubilidade do mesmo à água (FRANZ et al., 1997). Porém, há uma grande variação entre produtos comerciais de glyphosate e suas formulações, portanto, não é possível haver generalização do comportamento de diferentes formulações baseado em pesquisas isoladas (RAETANO; CHECHETTO, 2019).

Além da utilização do glyphosate de maneira isolada, é muito comum seu uso em mistura com 2,4-D, onde já há produtos que contam com a mistura das duas moléculas na mesma formulação. A utilização de moléculas com ação em sítios diferentes complementa o espectro de controle do glyphosate. Em 2022 há 19 espécies resistentes ao glyphosate no Brasil e 343 no mundo e 01 espécie resistente ao 2,4-D no Brasil e 47 no mundo. (International Survey of Herbicides-Resistant Weeds, 2022). A associação dos dois herbicidas gera sinergismo, o que aumenta a eficácia do controle das plantas daninhas e, conseqüentemente gerando intenso uso dessa mistura (RAMOS; DURIGAN, 1996; TAKANO et al., 2013). Marchesi (2016) avaliou a interação entre os dois herbicidas para controle de *Conyza canadensis* e concluiu que a mistura aumentou a absorção e eficácia do 2,4-D.

2.3.2 Características do 2,4-D

O 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um herbicida utilizado desde a década de 1940. É considerado um ácido fraco com pKa igual a 2,8 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), podendo ser formulado tanto como ácido, quanto sal ou éster (TU et al., 2001).

Além das formulações sal e éster, hoje há também a formulação sal de colina que já está registrada no Brasil (AGROFIT, 2017). Apesar de terem o mesmo ingrediente ativo, as diferentes formulações têm comportamentos distintos no ambiente. As aminas têm maior solubilidade, portanto menos resistentes à lavagem por chuva, além de serem menos eficientes em atravessarem a cutícula da folha (NICE et al., 2004; ROMAN et al., 2007). As formulações ésteres são classificadas como extremamente voláteis e por essa questão não são mais comercializadas no país (ROMAN et al., 2007). Dentre as formulações existentes, a formulação amina é a mais utilizada no mundo, tendo destaque as dimetilaminas (MARCHESI, 2016).

A nova formulação colina possui grupos químicos maiores (três grupos metila) quando comparada à formulação dimetilamina (dois grupos metila), portanto tem menor exposição da sua carga (FIGUEIREDO, 2015). A formulação colina é classificada com volatilidade extremamente baixa (constante de Henry= $1,4 \cdot 10^{-16}$ atm m³ mol⁻¹) e a formulação dimetilamina, volatilidade baixa (constante de Henry= $8,6 \cdot 10^{-6}$ atm m³ mol⁻¹). A formulação amina interage em menor intensidade com os cátions e mais intensamente com ânions presentes no sistema. Apesar das diferenças entre as formulações, o 2,4-D age da mesma maneira no interior da planta após serem absorvidas pelas folhas, pois são convertidas na forma ativa ácida após perderem seus cátions (NICE et al., 2004; ROMAN et al., 2007).

O 2,4-D é potencialmente móvel no solo, porém apresenta rápida degradação principalmente por microrganismos, minimizando problemas com lixiviação. Apresenta coeficiente de sorção (Koc) médio de 20 mL g⁻¹ para ácido e sais de amina, e 100 mL g⁻¹ para ésteres e a meia-vida no campo é de 10 dias (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Sua ação sobre as plantas dicotiledôneas faz com que seja uma ferramenta importante no controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate. É um herbicida mimetizador de auxina e age nos pontos de crescimento da planta. Os principais sintomas apresentados pela planta após a aplicação do 2,4-D são epinastia, e crescimento exagerado e acelerado de outros tecidos como raízes e gemas. É

possível notar os efeitos do herbicida dentro de algumas horas e esse crescimento excessivo acaba levando a planta à morte.

Devido essa eficácia, baixa toxicidade e baixo residual no solo, é um dos herbicidas mais utilizados atualmente. As principais culturas onde o 2,4-D é utilizado são as monocotiledôneas como arroz, milho e cana-de-açúcar e para dessecação em pré-plantio de milho e soja em sistema de plantio direto (VARGAS; ROMAN, 2006; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Entretanto, pela característica de controlar apenas plantas dicotiledôneas há a necessidade da mistura com herbicidas que controlem também as gramíneas como, por exemplo, o glyphosate (CHRISTOFOLLETTI et al., 2001; VARGAS et al., 2007).

O 2,4-D tem ação sistêmica na planta e após ser absorvido, a molécula é translocada para os pontos de crescimento. A absorção pelas folhas das plantas se assemelha ao glyphosate, portanto a técnica de aplicação de ambos os produtos é equivalente. Por ser um produto sistêmico, é possível e recomendado o uso de gotas grossas em sua aplicação, o que reflete diretamente na minimização do risco de perdas por deriva (ANTUNIASSI et al., 2017).

Apesar de ser comum a mistura de glyphosate e 2,4-D, diferentes formulações podem apresentar tamanho de gotas diferentes durante a pulverização. A interação das formulações durante o processo de pulverização pode gerar mais deriva ao utilizar produtos de diferentes fabricantes e suas misturas (MOTA, 2015).

2.4 Deriva de herbicidas

A deriva pode ser definida como o deslocamento de partículas que contenham defensivos agrícolas no momento ou após a pulverização, depositando-se em fora da área ser tratada (U.S. Environmental Protection Agency, 2015). A principal causa da deriva durante as pulverizações ocorre quando se faz o uso de gotas mais finas em condições meteorológicas inadequadas. Este é um problema potencial na aplicação de qualquer produto, porém as consequências da deriva de herbicidas são mais evidentes, pois em grande parte dos casos, tem seu efeito visualmente perceptível em plantas susceptíveis (MOTA, 2015).

Devido ao uso de técnicas inadequadas, sabe-se que ocorre deriva em herbicidas do grupo das auxinas sintéticas, sendo o 2,4-D neste grupo de herbicidas o principal produto utilizado (MILLER; NORSWORTHY, 2015). Segundo Costa (2006), mesmo a

utilização desse herbicida em associação a outros produtos, na maioria das vezes, os problemas de toxicidade encontram-se ligados ao 2,4-D, onde a detecção se torna fácil por conta de sintomas característicos do produto.

Mota (2015) avaliou o potencial de deriva em túnel de vento e concluiu que o risco de deriva é influenciado pela mistura de 2,4-D com outros produtos. Gandolfo et al. (2012) também encontraram variações no risco de deriva das misturas de 2,4-D com glyphosate em túnel de vento.

Há relatos de efeitos do 2,4-D, mesmo em subdoses, nas culturas de videira (OLIVEIRA JR. et al., 2007), mamona (SEVERINO et al., 2004), algodão (CONSTANTIN et al., 2004) e fumo (CONSTANTIN et al., 2003).

Portanto, é fundamental entender quais influências a pulverização de herbicidas podem sofrer, como tipo de formulação, mistura de produtos e tipos de pontas de pulverização utilizadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, em Botucatu – SP, nos laboratórios do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA). O experimento foi realizado em laboratório climatizado e monitorado durante a execução de cada tratamento, mantendo as condições ideais de temperatura e umidade relativa do ar.

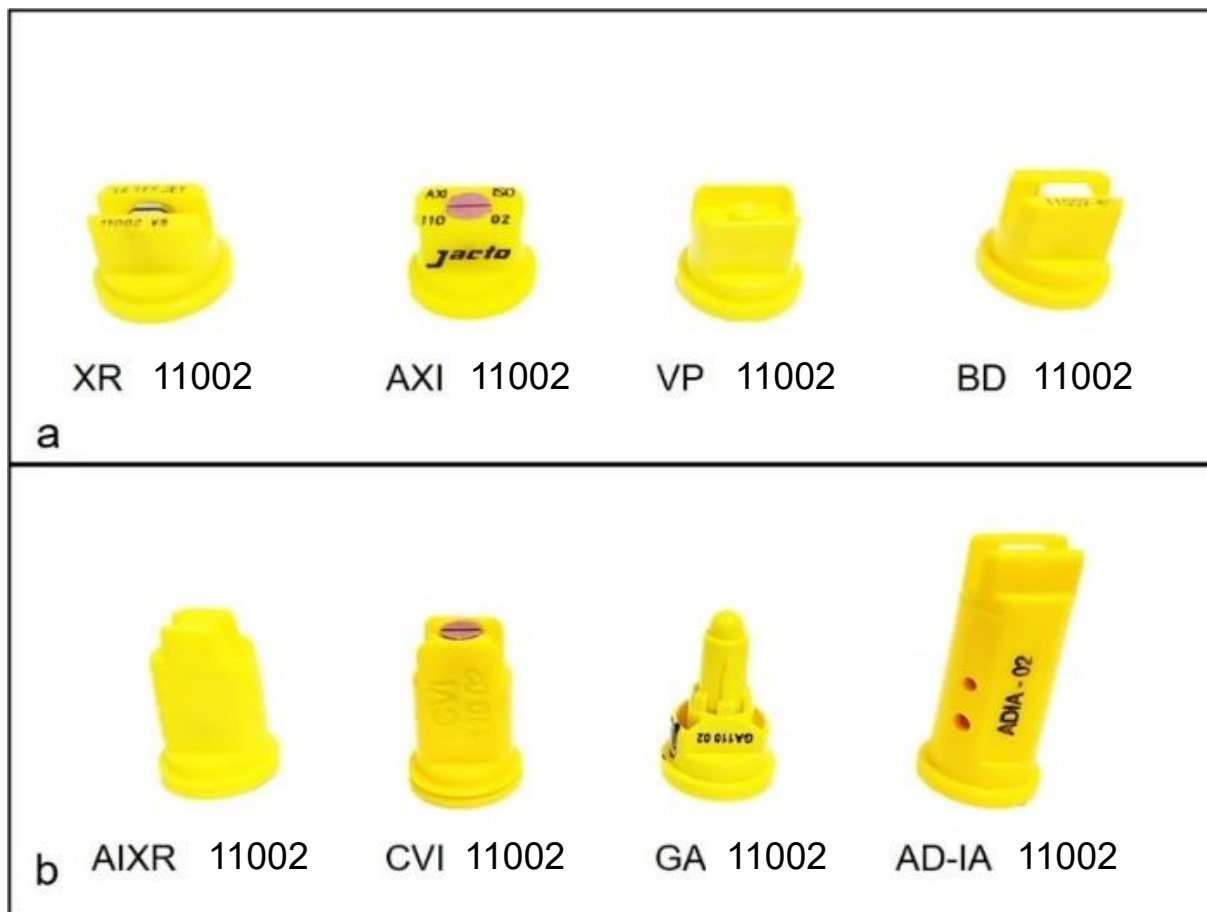
3.2 Tratamentos e delineamento estatístico

Foram comparadas nove caldas aplicadas por 8 modelos de pontas de pulverização, de quatro fabricantes diferentes, sendo quatro pontas de jato plano sem indução de ar e quatro de jato plano com indução de ar (Tabela 2). Os modelos de pontas de pulverização utilizados nessa pesquisa estão na Figura 1.

Tabela 2 - Descrição das pontas de pulverização

Fabricante	Modelos	Tipos de pontas	Ângulos dos jatos (°) e vazões nominais (gal min ⁻¹)
Teejet (Wheaton, EUA)	XR	Jato plano sem indução de ar	110 02
Jacto (Pompeia, SP, Brasil)	AXI		110 02
Pentair (Mineápolis, EUA)	VP		110 02
Magnojet (Ibaiti, PR, Brasil)	BD		110 02
Teejet (Wheaton, EUA)	AIXR	Jato plano com indução de ar	110 02
Jacto (Pompeia, SP, Brasil)	CVI		110 02
Pentair (Mineápolis, EUA)	GA		110 02
Magnojet (Ibaiti, PR, Brasil)	AD-IA		110 02

Figura 1 – Pontas de pulverização sem indução de ar (a) e com indução de ar (b). Teejet, Jacto, Pentair e Magnojet, da esquerda para a direita



A pressão de trabalho em todos os tratamentos foi de 280 kPa e o volume de aplicação simulada de 80 L ha⁻¹ para efeito comparativo ao ensaio de Moreira (2016). A descrição dos produtos encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos produtos

Nomes comerciais	Ingredientes ativos*	Formulações	Indicações de uso*	Concentrações dos ingredientes ativos (g L ⁻¹)
Enlist® Colex-D®**	2,4-D (Sal Colina)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	668,62
EnlistDuo® Colex-D®**	2,4-D (Sal Colina) + Glyphosate (Sal Dimetilamina)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	285,92 + 259,66
DMA 806 BR®**	2,4-D (Sal Dimetilamina)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	806
Roundup Transorb R®***	Glyphosate (Sal Potássico)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	588
Glizmax® Prime**	Glyphosate (Sal Dimetilamina)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	608
Zapp QI 620****	Glyphosate (Sal Potássico)	SL	Herbicida sistêmico de pós emergência	620

* Informações fornecidas pelos fabricantes.

** Titular do registro – Corteva Agriscience Ltda.

*** Titular do registro – Bayer Ltda.

**** Titular do registro – Syngenta Ltda.

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 9 x 4 para cada classe de pontas (9 caldas x 4 pontas) com 36 tratamentos (combinação de fatores) para pontas sem indução de ar e 36 para pontas com indução de ar.

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$). As caldas foram diluídas em água deionizada nas doses comerciais dos herbicidas 2,4-D sal dimetilamina, 2,4-D sal colina isolados e em misturas com três formulações de glyphosate (sal dimetilamina, sal potássico e sal potássico), além da mistura pronta de 2,4-D sal colina com glyphosate sal dimetilamina (Tabela 4).

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos utilizados

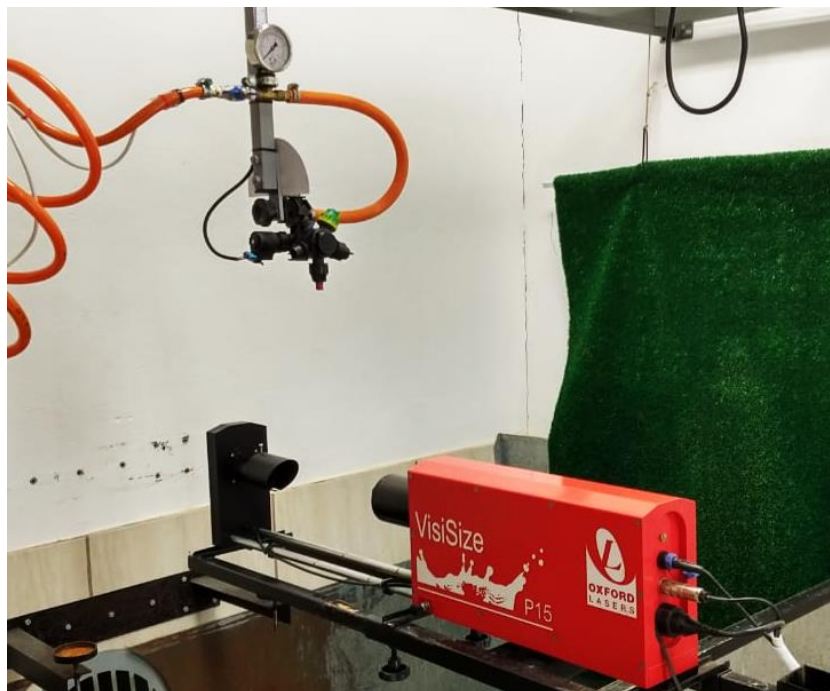
Tratamentos	Dose do herbicida (L de p.c. ha ⁻¹)	Dose do herbicida (L de p.c. ha ⁻¹)	Sigla
DMA	1,13	-	DMA
Enlist	1,50	-	ENL
Enlist Duo	3,50	-	DUO
Enlist + Glizmax Prime	1,50	2,50	ENL+GP
Enlist + Roundup	1,50	2,50	ENL+RT
Transorb R			
Enlist + Zapp QI	1,50	1,35	ENL+ZQ
DMA + Glizmax Prime	1,13	2,50	DMA+GP
DMA + Roundup	1,13	2,50	DMA+RT
Transorb R			
DMA + Zapp QI	1,13	1,35	DMA+ZQ

3.3 Análise do espectro de gotas

A pulverização das caldas foi feita através de um sistema pressurizado por compressor de pistão Bravo CSL 10 BR (Schulz S.A., Joinville, SC, Brasil) e a pressão estabilizada por calibrador eletrônico M1514 (StockAir Ltda., Curitiba, PR, Brasil). O sistema de pressurização e de pulverização foram conectados a um cilindro de aço inox (Guarany Ind. Ltda., Itu, SP, Brasil), com 8 litros de capacidade, por conectores de engate rápido 6500 4-4S (Pcl Acoplamentos Hidráulicos e Pneumáticos Ltda., São Paulo, SP, Brasil).

O espectro de gotas foi determinado utilizando-se equipamento analisador de partículas em tempo real VisiSize Portable P15 (Oxford Lasers Ltd., Didcot, Inglaterra). Esse equipamento é capaz de medir tamanho de gotas a partir de 15 µm. A ponta de pulverização foi posicionada 50 cm acima do equipamento e 20 cm a frente da lente da câmera, onde encontra-se a região focal do conjunto de lentes (Figura 2). As imagens das partículas pulverizadas são obtidas a partir da emissão de luz de LED e a captura das imagens baseadas na sombra projetada sobre o conjunto de lentes e câmera. Foi utilizado o conjunto de lentes número 3 e magnificação número 1. Nessas configurações, o equipamento analisa gotas entre 31 µm e 11.548 µm.

Figura 2 – VisiSize Portable P15 e posição do sistema de pulverização



O equipamento é acionado através do programa computacional Visisize Particle Sizing, versão 6.514, e a medição do tamanho das gotas é feito através do algoritmo Particle/Droplet Image Analysis (PDIA). Após acionar a pulverização, é iniciada a leitura do espectro de gotas até o total de 10.000 gotas analisadas por repetição. Foram feitas 5 repetições para cada tratamento e entre os dados coletados pelo equipamento foram selecionados o diâmetro médiano volumétrico (DMV), o percentual do volume de gotas menores que 105 μm (V105) e a amplitude relativa (AR) para caracterizar o espectro de gotas.

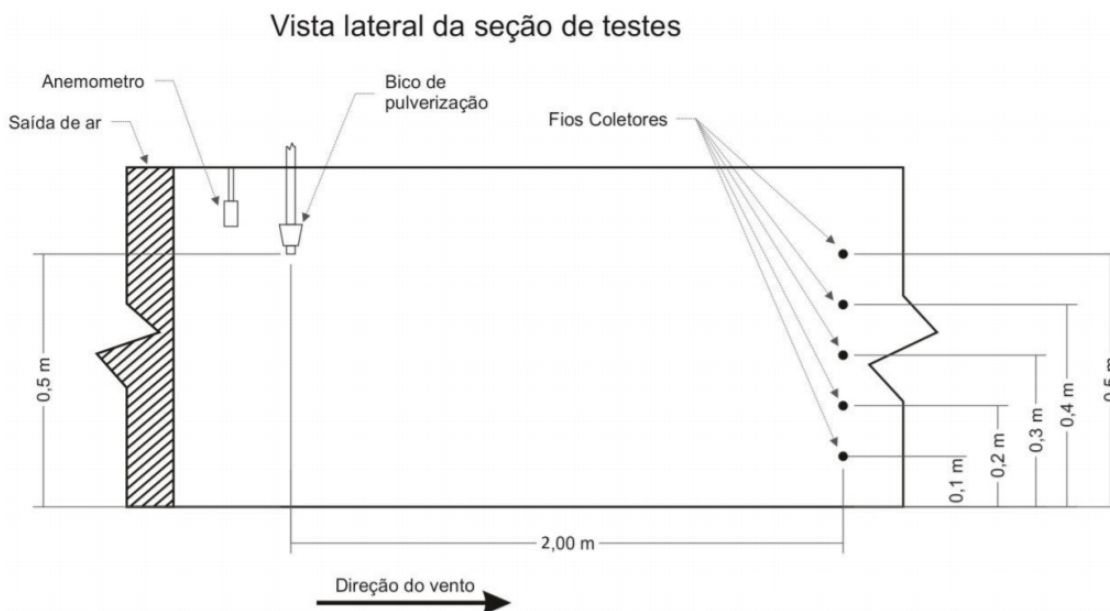
3.4 Avaliação do índice de deriva

O índice de deriva foi estimado em túnel de vento seguindo o modelo proposto por Moreira Junior (2009) (Figura 3), com diferentes dimensões e adaptações para facilitar a retirada dos coletores. A metodologia de coleta foi baseada na norma ISO 22856 (International Organization for Standardization, 2008). As dimensões do túnel de vento são de 1,0 m de largura, 0,75 m de altura, seção de testes de 2,85 m de comprimento e 6,5 m de comprimento total (Figura 4). A ponta de pulverização ficou em posição central em relação a largura do túnel, a 1,5 m de distância em relação à entrada de ar e à altura de 0,5 m em relação à base do equipamento.

Figura 3 – Túnel de vento para avaliação de índice de deriva



Figura 4 – Esquema, dimensões e posicionamentos dos componentes do túnel de vento



A calda pulverizada é exposta ao fluxo de ar incidente sobre a pulverização com velocidade de $2,5 \text{ m s}^{-1}$. As gotas transportadas pelo vento são capturadas por cinco fios de nylon de 2 mm de diâmetro, utilizados como alvos artificiais. Os alvos foram posicionados a 2 metros da ponta de pulverização, horizontalmente e perpendicular

ao sentido do deslocamento do vento a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m acima do piso do túnel.

Em todas as repetições, a velocidade do vento foi monitorada por um anemômetro digital tipo ventoinha MDA 11 (Minipa, São Paulo, SP, Brasil). A temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por um termohigrômetro digital MTH 1362 W (Minipa, São Paulo, SP, Brasil) e mantidos entre 19 e 26°C e 55 a 88% respectivamente.

Para quantificar o depósito da pulverização foi utilizado corante Azul Brilhante, FCF – INS 133 (International Numbering System for Food Additives). Em todos os tratamentos foi utilizada a dose de 6 g L⁻¹, previamente diluída em água antes da mistura na calda. Esse corante tem como característica baixa fotodegradação, estabilidade, atoxicidade, baixo custo, e análise com baixa interferência nas características da calda, por ser realizada através de espectrofotometria (PALLADINI, 2000; MARCHI et al., 2005).

O esquema utilizado na pulverização foi similar à avaliação de espectro de gotas, composto por cilindro de inox (Guarany Ind. Ltda., Itu, SP, Brasil), com 8 litros de capacidade, conectores de engate rápido 6500 4-4S (PCL Acoplamentos Hidráulicos e Pneumáticos Ltda., São Paulo, SP, Brasil).

Após o ventilador ser ligado e o fluxo de ar estabilizado em 2,5m s⁻¹, acionava-se a pulverização por 20 segundos. Após a pulverização, aguardava-se 10 segundos antes de desligar o ventilador e coletar os alvos. Os fios de nylon foram coletados e armazenados em sacos plásticos para remoção do corante. Também foram coletados 200 mL de cada calda para utilizar como referência nos cálculos de estimativa de corante em cada fio, por meio de curvas padrão.

A lavagem dos coletores foi feita logo após a coleta. Para extrair o corante dos fios, foi utilizado água deionizada, adicionando-a ao saco plástico com o fio retirado e inflando-o de ar para facilitar a agitação, feita por 15 segundos. A quantidade de água utilizada para lavagem dos fios variou de acordo com o tipo de ponta utilizada. Para pontas sem indução de ar, onde a quantidade de corante coletada foi maior, utilizou-se 90 mL. Para as pontas com indução de ar, foram utilizados 45 mL por ter havido menos deriva. O volume de água foi definido previamente para que as amostras não ficassem com o corante muito diluído, dificultando a leitura do equipamento.

O líquido oriundo da lavagem foi armazenado em tubos de ensaio e imediatamente procedeu-se a leitura no espectrofotômetro Shimadzu UV-2600

(Shimadzu, Kyoto, Japão) em comprimento de onda de 630 nm, referente à faixa espectral do corante.

As curvas padrão foram obtidas a partir da diluição das amostras das caldas nas concentrações de 0,01456; 0,0293; 0,05859; 0,11719; 0,46875; 0,9375; 1,875; 3,75; 7,5 e 15 mg L⁻¹. Com os dados de absorvância de cada concentração e a curva padrão, o equipamento procedeu o cálculo da concentração de corante presente em cada amostra pela equação 1.

$$C_c = \frac{abs-A}{B} \quad (1)$$

Onde C_c é concentração de corante na amostra, A é coeficiente linear da reta, abs é absorvância da amostra e B é coeficiente angular da reta.

Com os resultados da concentração de corante em cada amostra e a quantidade de água utilizada para a lavagem dos fios, calculou-se a quantidade coletada em cada alvo, conforme a equação 2.

$$Q_c = \frac{C_c.Q_a}{1000} \quad (2)$$

Onde Q_c é quantidade de corante presente em cada fio (mg) e Q_a é quantidade de água utilizada na lavagem de cada fio (mL).

O índice de deriva por fio foi estimado utilizando os valores de corante presente em cada fio, sendo o percentual do volume de calda pulverizada que ficou retido, conforme a equação 3.

$$ID_{fio} = Q_c \cdot 100 / \left(\frac{V \cdot T}{60 \cdot Q_l} \right) \quad (3)$$

Onde ID_{fio} é índice de deriva por fio (%), V é vazão da ponta de pulverização na pressão de trabalho (L min⁻¹), T é tempo de pulverização na pressão de trabalho (s), Q_c é quantidade de corante presente em cada fio (mg) e Q_l é Concentração de corante na calda (mg L⁻¹).

O índice de deriva total de cada repetição foi calculado através do somatório da deposição de todos os fios (MOREIRA JÚNIOR, 2009; OLIVEIRA, 2011; CHECHETTO et al., 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre calda e modelo de ponta para DMV, V105 e ID foi significativa para pontas com e sem indução de ar (Tabela 5, 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente). A significância desta análise mostra que os resultados obtidos nos parâmetros DMV, V105 e ID em cada ponta de pulverização foi dependente da calda pulverizada. De maneira recíproca, os resultados obtidos pelas diferentes caldas se mostraram dependentes da ponta de pulverização utilizada. Estes resultados reforçam a necessidade de melhor entendimento da interação entre diferentes modelos de pontas e formulações (SANTOS, 2007), confirmando as observações de Antuniassi e Baio (2008) sobre a interferência das caldas no processo de geração de gotas na pulverização.

Tabela 5 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta sem indução de ar para DMV (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	13310,3	3	547,59	<0,05*
Ponta	3	2654,8	5	291,26	<0,05*
Calda*Ponta	24	3728,5	2	51,13	<0,05*
Resíduo	144	437,5	4		
Total	179	20131,1	1		
CV	1,25%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 6 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta sem indução de ar para V105 (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	5480,5	5	794,48	<0,05*
Ponta	3	881,4	3	340,74	<0,05*
Calda*Ponta	24	808,9	4	39,09	<0,05*
Resíduo	144	124,2	2		
Total	179	7295	1		
CV	3,98%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 7 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta sem indução de ar para ID (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	0,18732	3	289,39	<0,05*
Ponta	3	0,11028	4	454,32	<0,05*
Calda*Ponta	24	0,04116	2	21,2	<0,05*
Resíduo	72	0,00583	5		
Total	107	0,34459	1		
CV	5,72%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 8 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta com indução de ar para DMV (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	668446	4	2025,7	<0,05*
Ponta	3	264365	5	2136,4	<0,05*
Calda*Ponta	24	76717	2	77,5	<0,05*
Resíduo	144	5940	3		
Total	179	1015467	1		
CV	2,23%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 9 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta com indução de ar para V105 (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	3451,8	5	1900,2	<0,05*
Ponta	3	347,3	4	509,78	<0,05*
Calda*Ponta	24	271	3	49,73	<0,05*
Resíduo	144	32,7	2		
Total	179	4102,8	1		
CV	6,75%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

Tabela 10 - Quadro da análise de variância (ANOVA) para interação entre calda e modelo de ponta com indução de ar para V105 (GL: Grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado; P: p valor; CV: Coeficiente de variação)

Fatores	GL	SQ	QM	Fc	P
Calda	8	0,0063708	4	49,796	<0,05*
Ponta	3	0,0023174	3	48,303	<0,05*
Calda*Ponta	24	0,0025823	2	6,728	<0,05*
Residuo	72	0,0011514	5		
Total	107	0,0124218	1		
CV	19,91%				

*indica significância ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

4.1 Espectro de gotas e Índice de Deriva das formulações de 2,4-D

4.1.1 Espectro de gotas gerados pelas formulações de 2,4-D com as pontas sem indução de ar

Os resultados de DMV, V105 e Índice de deriva de 2,4-D com pontas sem indução de ar estão apresentados nas Figuras 5, 6, e 7, respectivamente.

Figura 5 – Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) para 2,4-D com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

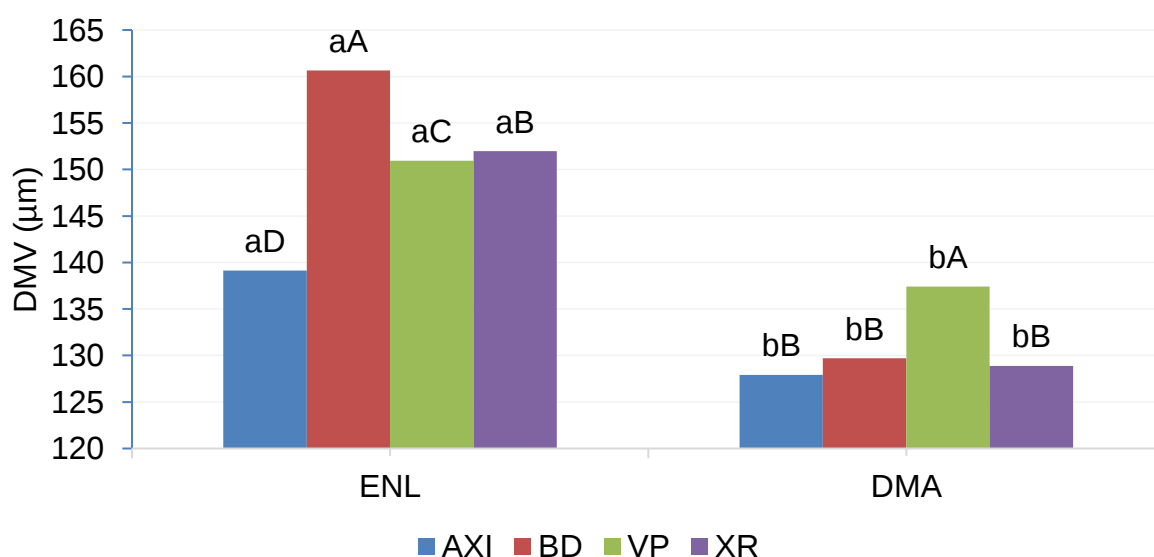


Figura 6 – Percentual do volume de gotas menores que 105 μm (V105) para 2,4-D com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

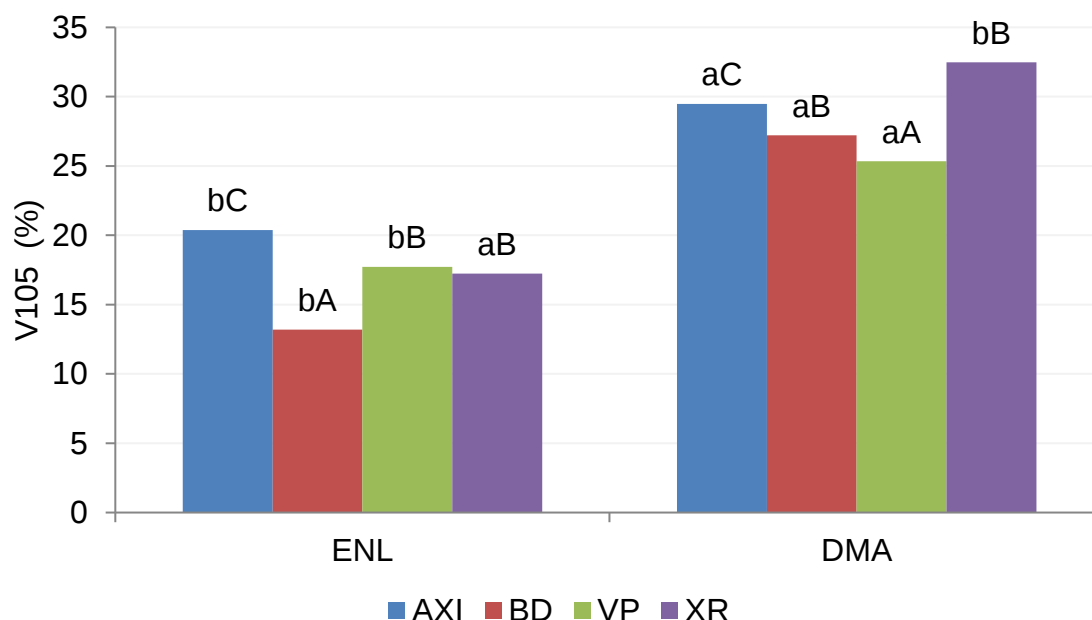
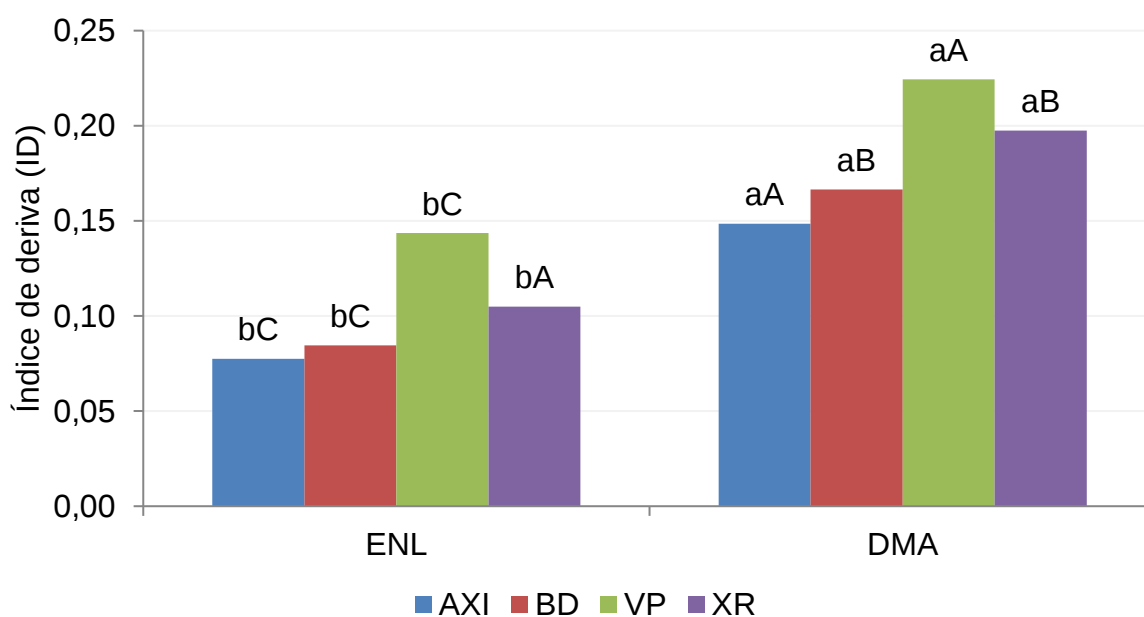


Figura 7 – Índice de Deriva (I.D.) para 2,4-D com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade



Avaliando os resultados de diâmetro mediano volumétrico (DMV) (Tabela 12) entre ENL e DMA, observa-se a ação do Colex-D® aumentando os valores de DMV de ENL.

O menor valor para a calda de ENL foi de 138,56 µm com a ponta AXI, enquanto o maior valor para DMA foi 137,4 µm com a ponta VP, estando abaixo de todos os resultados observados de ENL, corroborando com os resultados obtidos por Moreira (2016). Antuniassi e Baio (2008), afirmam que a formação das gotas sofre interferência da característica física da calda de acordo com a formulação utilizada.

Ao analisar os modelos de pontas, nota-se interação entre as caldas, pois para ENL, a ponta BD gerou o maior DMV, enquanto para DMA a ponta VP gerou o maior valor, destacando-se entre as demais pontas que não apresentaram diferenças entre elas.

Tabela 12 – Valores de DMV (µm) para as caldas com 2,4-D nas pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
ENL	138,56 aD	161,18 aA	148,78 aC	152,16 aB
DMA	127,48 bB	129,24 bB	137,30 bA	129,56 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados de V105 (Tabela 13) mostram que ENL gerou menor volume de gotas deriváveis comparado ao DMA, o que é esperado quando se aumenta o DMV. Analisando as pontas há a mesma tendência onde o maior DMV gerou o menor V105, sendo BD o melhor resultado para ENL e VP para DMA. Considera-se melhor resultado para redução de deriva o menor V105.

Tabela 13 – Valores de V105 (%) de 2,4-D com as pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
ENL	20,74 bC	13,06 bA	18,31 bB	16,95 aB
DMA	29,81 aC	27,43 aB	25,26 aA	31,84 bD

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 14 estão os resultados do Índice de Deriva (I.D.) que seguindo a tendência do menor volume de gotas deriváveis, mostra o ENL com os menores

valores. É esperado que os resultados de menor V105 resultem em menor I.D., mas nota-se que há variação nos resultados das pontas em que o menor valor nesse caso foi para as pontas AXI e BD com ENL. Tal fato dá-se pela diferente metodologia de coleta de dados de espectro de gotas e índice de deriva, pois há mais gotas além das consideradas deriváveis (V105) capturadas pelo alvo artificial em ensaio de deriva. Para a calda DMA, a ponta de pulverização VP seguiu a tendência de V105 com o melhor resultado.

Tabela 14 – Valores de I.D. de 2,4-D com as pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
ENL	0,077 bC	0,085 bC	0,144 bC	0,105 bA
DMA	0,148 aA	0,166 aB	0,216 aA	0,198 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para encontrar a recomendação mais adequada visando a segurança na aplicação, deve-se avaliar o espectro de gotas em conjunto com ensaios de índice de deriva. Para os herbicidas avaliados nesse trabalho, as pontas sem indução de ar não são recomendadas pois há grande volume de gotas suscetíveis à deriva.

4.1.2 Espectro de gotas gerados pelas formulações de glyphosate e 2,4-D com as pontas sem indução de ar

Os resultados de DMV, V105 e Índice de deriva de 2,4-D com pontas sem indução de ar estão apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. As caldas de 2,4-D e glyphosate foram compostas pela mistura pronta dos herbicidas (Enlist® Duo) e a mistura em tanque dos produtos isolados Enlist e DMA com as formulações de glyphosate RoundUp Transorb R, Zapp QI e Glimax Prime.

Figura 8 – Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) para 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

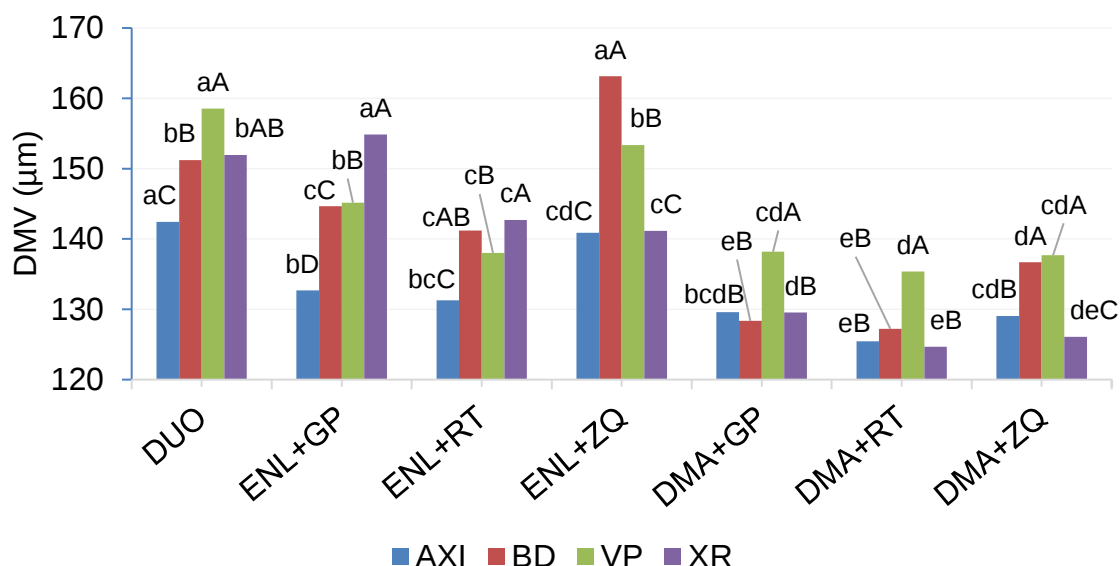


Figura 9 – Gotas menores que 105 μm (V105) para 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

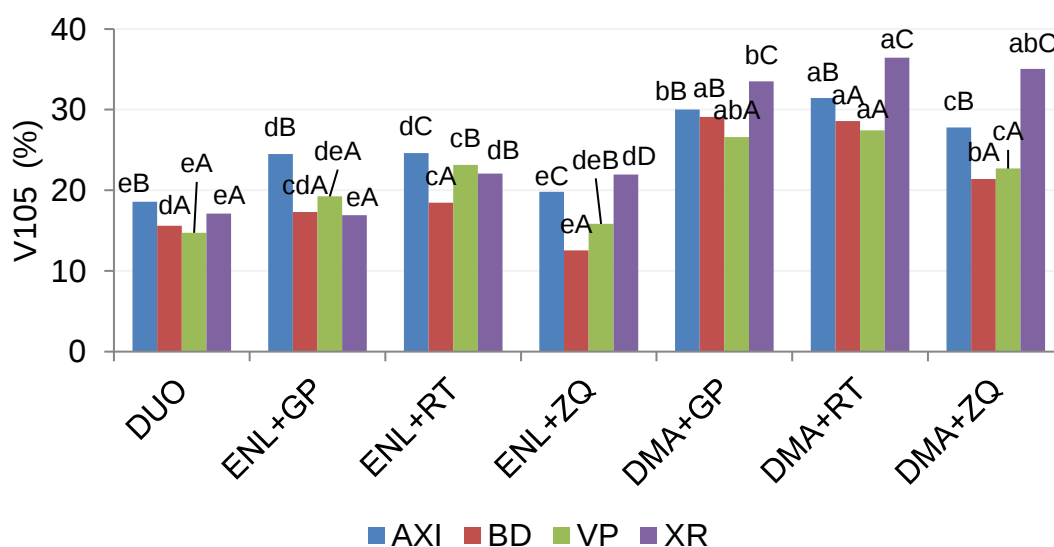
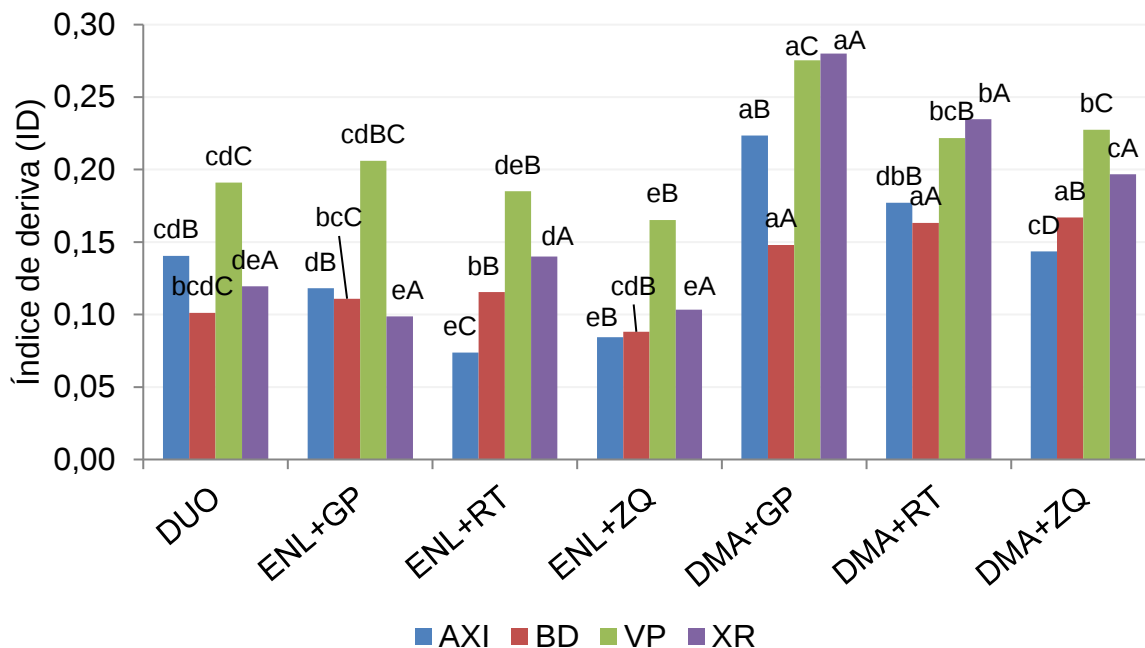


Figura 10 – Índice de Deriva (I.D.) para 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade



A Tabela 15 apresenta os valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) das caldas com mistura entre 2,4-D e glyphosate. As caldas contendo Colex-D®, tanto mistura pronta DUO quanto as misturas em calda de Enlist, tenderam a aumentar os valores de DMV quando comparado às caldas com DMA. Nota-se também que o modelo de ponta VP favoreceu o aumento dos valores para caldas com DMA, observando DMV maior até que alguns tratamentos com Colex-D e ponta AXI. O maior valor encontrado foi a combinação de ENL+ZQ e a ponta BD (162,82 μm), enquanto o menor resultado foi DMA+RT e a ponta XR (124,80 μm).

Antuniassi et.al (2016), para avaliar o desempenho de DUO, comparou a a mistura pronta a três opções de misturas em tanque contendo 2,4-D (DMA) com glyphosate (GP, RT, ZQ). Os autores observaram o aumento no DMV da mistura pronta em relação a misturas em tanque com glyphosate, independente do modelo de ponta, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Tabela 15 – Valores de DMV (μm) para as caldas contendo 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
DUO	141,54 aC	149,68 bB	153,64 aA	152,04 bAB
ENL+GP	132,84 bD	144,06 cC	148,78 bB	155,66 aA
ENL+RT	131,44 bcC	141,16 cAB	139,32 cB	143,96 cA
ENL+ZQ	141,52 cdC	162,82 aA	149,64 bB	140,60 cC
DMA+GP	129,86 bcdB	128,04 eB	137,54 cdA	128,64 dB
DMA+RT	125,20 eB	126,92 eB	134,22 dA	124,80 eB
DMA+ZQ	129,14 cdB	134,78 dA	137,40 cdA	126,22 deC

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 16 estão apresentados os resultados de V105. De forma semelhante ao DMV, os resultados das caldas com Colex-D® foram mais eficientes em reduzir o V105 comparados ao volume de gotas deriváveis das caldas com DMA.

Tabela 16 – Valores de V105 (%) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
DUO	19,03 eB	16,18 dA	16,00 eA	16,95 eA
ENL+GP	24,45 dB	17,66 cdA	17,83 deA	16,75 eA
ENL+RT	24,33 dC	18,47 cA	22,59 cB	21,57 dB
ENL+ZQ	19,57 eC	12,78 eA	17,20 deB	22,10 dD
DMA+GP	29,83 bB	29,20 aB	26,83 abA	34,25 bC
DMA+RT	31,68 aB	28,96 aA	28,05 aA	36,56 aC
DMA+ZQ	27,73 cB	22,30 bA	23,00 cA	34,92 abC

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados de I.D. (Tabela 17) indicam as caldas contendo Colex-D® com menor risco de gerar deriva com a todas as pontas, exceto VP. Avaliando as pontas utilizadas, o modelo VP apresentou os maiores valores para caldas com Colex-D® e, mesmo tendo gerado maior DMV para caldas sem Colex-D®, no ensaio de deriva esse resultado não foi consistente. As avaliações de espectro de gotas e índice de

deriva são conduzidas com metodologias distintas, portanto apesar do V105 ser um forte indicativo de redução de deriva, deve-se analisar os dados em conjunto para o pleno entendimento da pulverização. Há diversos estudos que demonstram a forte correlação entre maior volume de gotas menores que 105 μm e maior risco de deriva (CHECHETTO, 2013; OLIVEIRA; ANTUNIASI, 2012; GANDOLFO, 2014).

Tabela 17 – Valores de I.D. de 2,4-D e glyphosate com as pontas sem indução de ar

Calda	AXI	BD	VP	XR
DUO	0,140 cdB	0,120 bcdC	0,101 cdC	0,205 deA
ENL+GP	0,118 dB	0,099 bcC	0,111 cdBC	0,206 eA
ENL+RT	0,074 eC	0,128 bB	0,115 deB	0,185 dA
ENL+ZQ	0,084 eB	0,104 cdB	0,088 eB	0,175 eA
DMA+GP	0,224 aB	0,281 aA	0,148 aC	0,276 aA
DMA+RT	0,177 dbB	0,235 aA	0,163 bcB	0,222 bA
DMA+ZQ	0,144 cD	0,197 aB	0,167 bC	0,238 cA

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.1 Espectro de gotas gerados pelas formulações de glyphosate e 2,4-D com as pontas com indução de ar

Nas Figuras 11, 12, e 13 estão apresentados os gráficos dos resultados de DMV, V105 e índice de deriva de 2,4-D com pontas com indução de ar, respectivamente.

Essa categoria de pontas é a indicada para a aplicação de 2,4-D, pois gera classe de gotas mais seguras quando com paradas às pontas sem indução de ar. Segundo Hilz; Vermeer (2013), a ponta de pulverização interfere mais no espectro de gotas do que as formulações, e a conciliação destes fatores (ponta e formulação) resulta numa importante técnica para redução de deriva.

Figura 11 – Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) de caldas contendo 2,4-D com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

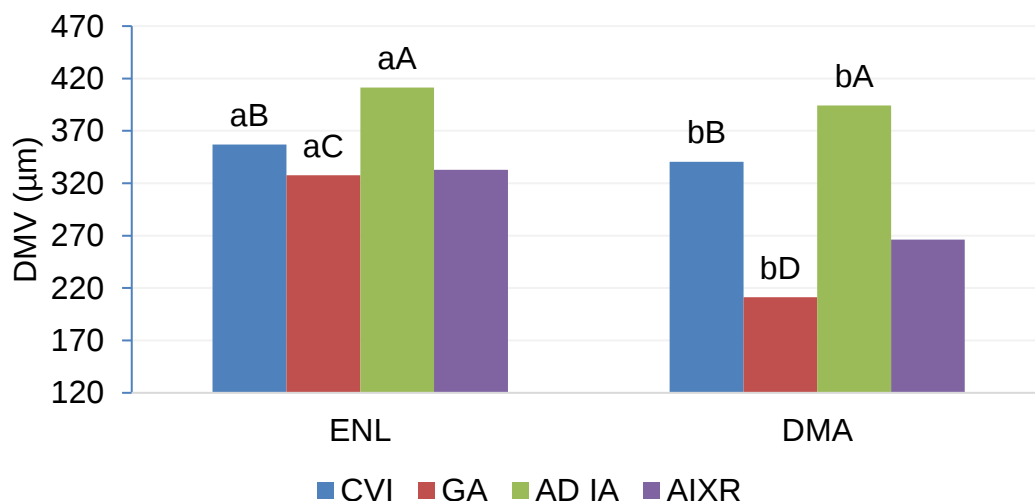


Figura 12 – Percentual do volume de gotas menores que 105 μm (V105) de 2,4-D com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

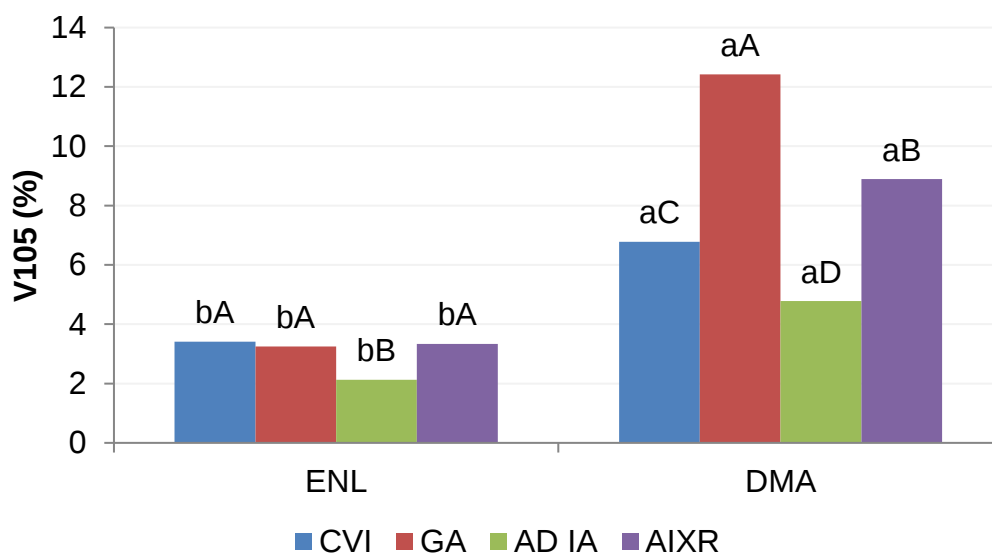
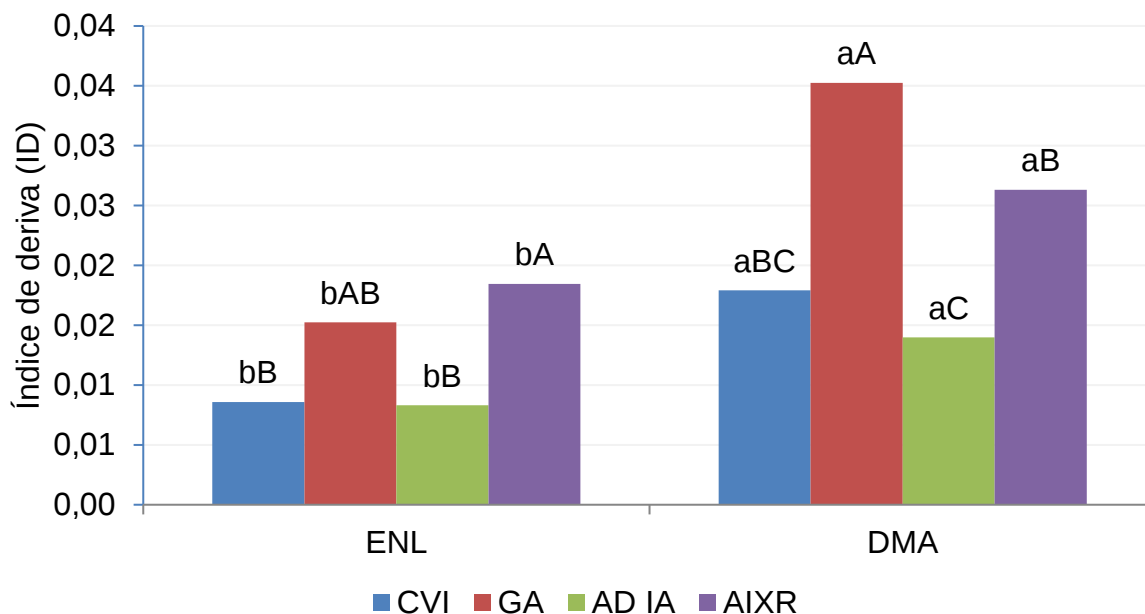


Figura 13 – Índice de deriva (I.D.) de 2,4-D com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula *na calda* e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade



De maneira semelhante ao observado com as pontas sem indução de ar, as caldas com ENL sempre geram maior tamanho de gotas que caldas com DMA quando comparadas entre as mesmas pontas. A alteração da ponta utilizada interferiu no DMV ao observar os resultados da mesma calda, mostrando que há interação desse fator.

Tabela 18 – Valores de DMV de 2,4-D com as pontas com indução de ar

Caldas	CVI	GA	AD IA	AIXR
ENL	360,36 aB	327,24 aC	410,62 aA	332,7 aC
DMA	338,46 bB	205,50 bD	392,92 bA	266,2 bC

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Novamente a calda ENL gerou menor V105 tendo o volume de gotas suscetíveis menores que 2,2% com a ponta AD IA. A calda com DMA apresentou todos os tratamentos com resultados acima de 4,8%, chegando a 13,05% de gotas menores que 105 µm quando se utilizou a ponta GA, interferindo diretamente no índice de deriva (Tabela 19). A recomendação mais segura para aplicação de 2,4-D é a

utilização da formulação com Colex-D® com qualquer ponta avaliada. Para a aplicação do herbicida DMA, a combinação com menor risco de deriva, baseada nos resultados obtidos, é aplicar com a ponta AD IA.

Tabela 19 – Valores de V105 de 2,4-D com as pontas com indução de ar

Caldas	CVI	GA	AD IA	AIXR
ENL	4,71 bA	3,22 bA	2,14 bB	3,86 bA
DMA	6,83 aC	13,05 aA	4,83 aD	8,75 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20 – Valores de I.D. de 2,4-D com as pontas com indução de ar

Caldas	CVI	GA	AD IA	AIXR
ENL	0,009 bB	0,015 bAB	0,008 bB	0,018 bA
DMA	0,018 aBC	0,035 aA	0,014 aC	0,026 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.2 Espectro de gotas gerados pelas formulações contendo glyphosate e 2,4-D com as pontas com indução de ar

As Figuras 14, 15 e 16 mostram os gráficos de DMV, V105 e I.D., respectivamente, para a mistura entre 2,4-D e glyphosate. As análises de segurança de aplicação devem ser investigadas para gerar a recomendação mais segura, observando as misturas com diferentes formulações e a interação com as pontas de pulverização.

Em estudo avaliando o potencial de deriva de caldas contendo o herbicida DMA em combinações de mistura em tanque com os herbicidas glyphosate e diclosulam e adjuvantes com as pontas AI 11003 e XR 11003, conclui que as misturas impactam no risco de deriva e no espectro de gotas (MOTA, 2015).

As caldas foram compostas de Enlist Duo (mistura pronta de 2,4-D e glyphosate) e a mistura em tanque de Enlist e DMA com os três produtos à base de glyphosate (RoundUp Transorb R, Glizmax Prime e Zapp QI).

Figura 14 – Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) de 2,4-D- e glyphosate com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

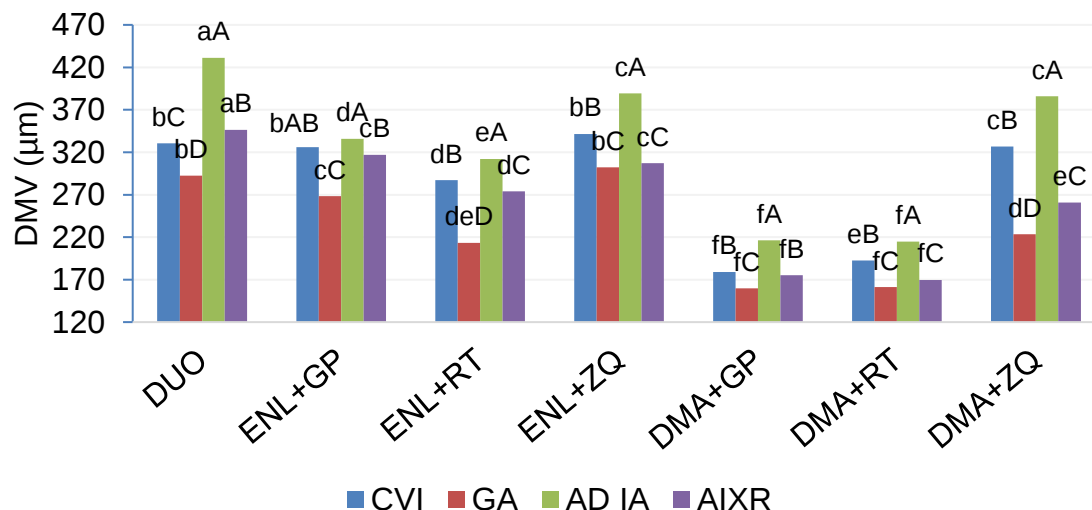


Figura 15 – Percentual do volume de gotas menores que 105 µm (V105) de 2,4-D e glyphosate com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na calda e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

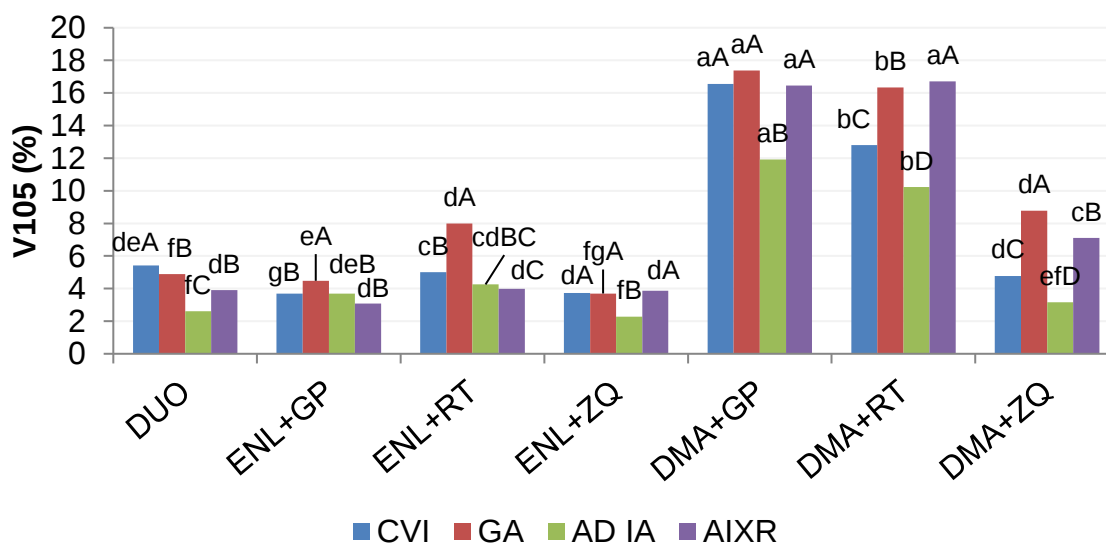
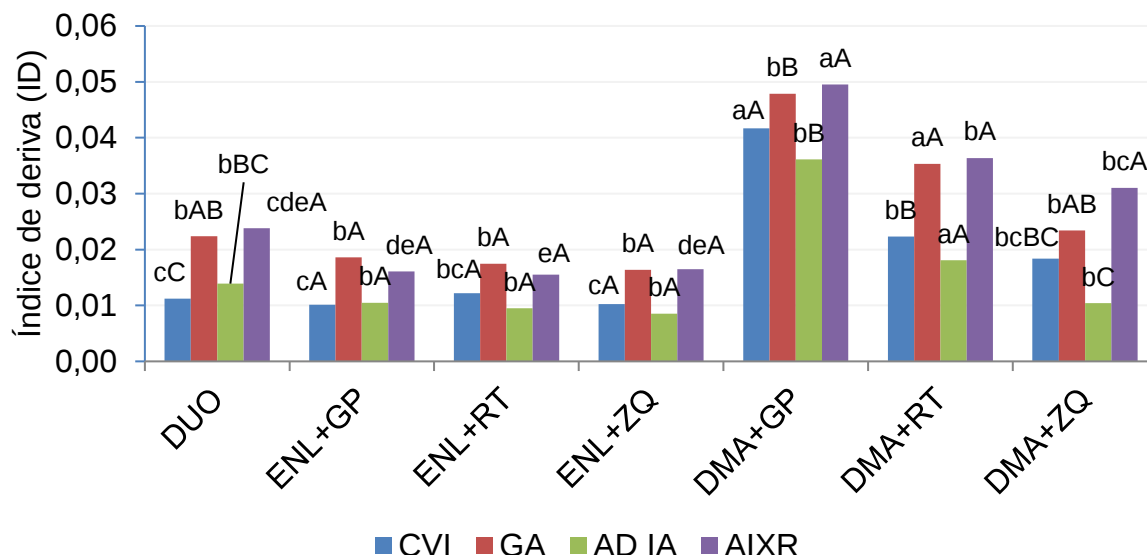


Figura 16 – Índice de Deriva (I.D.) de 2,4-D e glyphosate com as pontas com indução de ar. As médias seguidas pela mesma letra minúscula *na calda* e maiúscula no modelo de ponta de pulverização não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade



Os valores numéricos de DMV, V105 e I.D. estão apresentados na Tabela 21, 22 e 23, respectivamente. As misturas com Colex-D® foram as mais seguras comparadas aos tratamentos com DMA, portanto as caldas com Enlist ou a mistura pronta de Enlist Duo são mais adequadas visando aplicação com maior segurança.

De maneira geral, todas as pontas formaram gotas finas em algumas das caldas pulverizadas, com maior tendência nas misturas DMA+GP e DMA+RT, porém a ponta GA ainda foi o modelo que formou gotas finas em um maior número de caldas diferentes, inclusive na mistura de Enlist com Roundup Transorb R (ENL+RT).

É possível observar que, além da interação das pontas, nesse caso o glyphosate utilizado também interferiu nos resultados. Para todas as caldas contendo DMA, as pontas CVI e AD IA apresentaram os maiores DMV, menores V105 e I.D., sendo a mais indicada na aplicação dessa formulação. Porém, a interação do DMA com ZQ foi positiva na avaliação de segurança de aplicação. A mistura dos dois produtos, independente da ponta, gerou resultados mais positivos que alguns dos encontrados com as misturas com Colex-D®.

Tabela 21 – Valores de DMV de 2,4-D e glyphosate com as pontas com indução de ar

Calda	CVI	GA	AD IA	AIXR
DUO	325,92 bC	298,78 bD	434,02 aA	347,48 aB
ENL+GP	326,44 bAB	252,22 cC	335,00 dA	317,94 cB
ENL+RT	289,26 dB	216,38 deD	307,8 eA	273,63 d C
ENL+ZQ	336,52 bB	303,62 bC	393,42 cA	305,84 cC
DMA+GP	178,48 fB	159,56 fC	217,00 fA	175,30 fB
DMA+RT	198,18 eB	162,82 fC	216,34 fA	169,60 fC
DMA+ZQ	308,02 cB	225,64 dD	389,34 cA	260,80 eC

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os componentes da formulação Colex-D® atuam aumentando o tamanho das gotas e essa característica indica que é uma opção para substituir as caldas com DMA com o objetivo de aumentar a segurança da pulverização (MOREIRA, 2016).

A variação presente no DMV reflete também na análise do percentual do volume de gotas menores que 105 µm (V105). Foi encontrado valores de 2,08% de gotas suscetíveis à deriva para a combinação de AD IA e ENL+ZQ e até 17,41% para a combinação da ponta GA com a calda composta por DMA+GP. Esse resultado está em linha com o DMV, onde a ponta GA apresentou o menor valor (159,56 µm com DMA+GP) e AD IA o maior valor (434,02 µm com DUO). Nota-se que as caldas contendo DMA tendem a gerar um risco de deriva maior, porém, a mistura de DMA+ZQ apresenta uma maior segurança comparada às outras misturas de DMA.

Tabela 22 – Valores de V105 (%) para pontas com indução de ar

Calda	CVI	GA	AD IA	AIXR
DUO	5,64 deA	4,48 fB	2,54 fC	3,85 dB
ENL+GP	3,32 gB	5,45 eA	3,70 deB	3,14 dB
ENL+RT	3,89 cB	7,73 dA	4,32 cdBC	3,88 dC
ENL+ZQ	3,71 dA	3,66 fgA	2,08 fB	3,83 dA
DMA+GP	16,77 aA	17,41 aA	11,82 aB	16,90 aA
DMA+RT	11,95 bC	15,70 bB	10,26 bD	16,66 aA
DMA+ZQ	5,67 dC	8,64 dA	2,94 efD	7,33 cB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23 – Valores de I.D. para pontas com indução de ar

Calda	CVI	GA	AD IA	AIXR
DUO	0,011 cC	0,022 bAB	0,014 bBC	0,024 cdeA
ENL+GP	0,010 cA	0,019 bA	0,010 bA	0,016 deA
ENL+RT	0,012 bcA	0,017 bA	0,009 bA	0,015 eA
ENL+ZQ	0,010 cA	0,016 bA	0,009 bA	0,016 deA
DMA+GP	0,042 aA	0,048 bB	0,018 bB	0,050 aA
DMA+RT	0,022 bB	0,035 aA	0,036 aA	0,036 bA
DMA+ZQ	0,018 bcBC	0,023 bAB	0,010 bC	0,031 bcA

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Como o herbicida 2,4-D tem a tendência de ser aplicado majoritariamente em mistura com glyphosate, é importante considerar os resultados das misturas e não somente das aplicações de caldas isoladas.

As pontas utilizadas nesse trabalho foram selecionadas de acordo com a indicação dos fabricantes como alternativa às pontas XR e AIXR.

As aplicações com pontas de pulverização de diferentes fabricantes, mesmo se consideradas similares poderão não apresentar o mesmo comportamento na pulverização das mesmas caldas. Portanto, a recomendação deve levar em consideração estudos comparativos para que seja encontrado o melhor conjunto de calda e modelo de ponta visando maior segurança na pulverização de herbicidas. Sempre que possível, o desenvolvimento de novos modelos de pontas, formulações e misturas deve levar em conta a existência dessas interações.

Diferentes formulações de herbicidas com os mesmos ingredientes ativos podem gerar comportamentos distintos durante a pulverização. Mesmo que seja feita misturas de um mesmo ingrediente ativo, os diferentes componentes das diversas formulações interferirão no espectro de gotas e risco de deriva das caldas pulverizadas.

A formulação contendo a tecnologia Colex-D® atua na formação do espectro de gotas, gerando aumento do DMV, redução do V105 e do ID, tornando a pulverização mais segura. No mesmo sentido, as pontas de pulverização com indução de ar

deverão ser recomendadas para a aplicação de 2,4-D e glyphosate em função da geração de gotas com espectro mais seguro quanto ao risco de deriva.

5 CONCLUSÕES

Quando presentes nas caldas, os herbicidas que possuem formulações com a tecnologia Colex-D® geram espectro de gotas mais seguros e menores índices de deriva, reduzindo os riscos das aplicações. Houve interação significativa entre as caldas e as pontas em todas as análises, mostrando que as pontas de pulverização interagem com as caldas pulverizadas na geração do espectro de gotas e do índice de deriva. Diferentes formulações de glyphosate em mistura com 2,4-D alteram o espectro de gotas e índice de deriva das aplicações.

As pontas de pulverização de jato plano com indução de ar são recomendadas para a aplicação dos herbicidas 2,4-D e glyphosate.

Quando não houver a possibilidade do uso das caldas com Colex-D®, a utilização do glyphosate Zapp QI (ZQ) em mistura com 2,4-D será mais segura independente do modelo de ponta com indução de ar utilizado, considerando os modelos avaliados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE S572.2 Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph, Michigan, EUA, 2018.

ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências. *In: TOMQUELSKI, G. V. et al. (Eds.). Publicações Fundação Chapadão: Soja e Milho 2011/2012*. 5 ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. 2012. cap. 16, p. 113-139.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. Tecnologia de aplicação de defensivos. *In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 173-212.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K. ; MOTA, A. A. B. ; CHECHETTO, R. G. Tecnologia de Aplicação: Definição e Princípios Básicos. *In: ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K. ; MOTA, A. A. B. ; CHECHETTO, R. G. Entendendo a Tecnologia de Aplicação*. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2017. p. 9-11.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K. ; MOTA, A. A. B. ; CHECHETTO, R. G. Teoria da cobertura dos alvos. *In: ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K. ; MOTA, A. A. B. ; CHECHETTO, R. G. Entendendo a Tecnologia de Aplicação*. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2017. p. 11-15.

ANTUNIASSI, U. R.; CUNHA, J. P. A. R. Boas práticas na tecnologia de aplicação dos defensivos agrícolas. *In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2. ed. rev. ampl. cap. 21, p. 355-365.

ARY, M. *et al.* Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 63, p. 120–130, 2014.

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

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ROMAN, R. A. A. Tamanho de gotas de pontas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p.976-985, 2013.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. *In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2. ed. rev. ampl. cap. 16, p. 261-276.

CARVALHO, F. K. **Influência de adjuvantes de calda no depósito e deriva em aplicações aéreas e terrestres**. 2013. xi, 61 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2013

CHECHETTO, R. G.; RAETANO, C. G. Adjuvantes e formulações. *In*: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2. ed. rev. ampl. cap. 2, p. 29-45.

CHECHETTO, R. G. *et al.* Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37–46, 11 mar. 2013.

CHRISTOFFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p.

CHRISTOFFOLETTI, P. J.; CORTEZ, M. G.; MONQUEIRO, P. A. Bases da resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 3. Passo Fundo, 2001. **Resumo de palestras**. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte: 2001. p.39-53.

CONSTANTIN, J. *et al.* Efeitos de subdoses de 2,4-D na produtividade de fumo e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 30–34, 2003.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R.S. Efeito do estágio de desenvolvimento de culturas na sensibilidade a subdoses do herbicida 2,4-D. *In*: RAETANO, C.G.; ANTUNIASI, U.R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Fepaf, 2004. p. 40-48.

COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2006.

COSTA, A. G. F. *et al.* Efeito de pontas e pressões de pulverização na deriva de 2, 4-D+ glyphosate em condições de campo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, p. 62-70, 2012.

CUNHA, J. P. A. R. *et al.* Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulica de jato plano e jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 19, p. 977-985, 2004.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Mededelingen (Rijksuniversiteit Te Gent. Faculteit Van De Landbouwkundige En Toegepaste Biologische Wetenschappen)**, Groningen v. 67, n. 2, p. 19-25, 2002.

DENIS, M. H.; DELROT, S. Carrier-mediate uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 87, p. 569-575, 2015.

FERGUSON, J.; HEWITT, A. Developing a comprehensive Drift Reduction Technology risk assessment scheme. **Journal of plant protection research**, Poznan, v. 54, n. 1. jan. 2014. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/jppr.2014.54.issue-1/jppr-2014-0013/jppr-2014-0013.xml>>. Acesso em: 25 out. 2019.

FIGUEIREDO, M.R.A. **Interações entre os herbicidas 2,4-D e glifosato: aspectos químicos, bioquímicos e fisiológicos**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

FRANZ, J. E. *et al.* Glyphosate: a unique global herbicide. **American Chemical Society**, Washginton: American Chemical Society, 1997.

GALLI, A. J. B. A molécula glyphosate e a agricultura brasileira. *In*: VELINI, E. D. *et al.* **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, p. 17-20. 2009. Cap. 2

GANDOLFO, M. A. *et al.* Potencial de deriva da mistura de 2,4-D com glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 11, n. 3, p. 332, 10 dez. 2012.

GANDOLFO, U. D. Influência de diferentes misturas em tanque contendo o herbicida 2,4-D no espectro de gotas da aplicação. 56 p. 2014. **Dissertação** (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2014.

GOERING, C. E.; SMITH, D. B. Equations for droplet size distributions in sprays. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 21, n. 2, p. 209-216. 1978.

HALTER, S. História do herbicida agrícola glyphosate. *In*: VELINI, E. D. *et al* (Org.). **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, 2009. Cap. 1. p. 11-16.

HERRMANN, K. M.; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. **Annual review of plant biology**, v. 50, n. 1, p. 473-503, 1999.

HEWITT, A. J. Spray optimization through application and liquid physical property variables—I. **The Environmentalist**, New York, v. 28, n. 1, p. 25–30, 6 set. 2007.

HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, Guildford, v.44, p. 75-83, Feb. 2013.

INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE-RESISTANCE WEEDS, 2019. Disponível em: <<http://www.weedscience.com>> Acesso em 25 nov. 2019

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22856 Equipment for crop protection - Methods for the laboratory measurement of spray drift – Part 1: Wind tunnels**. Genebra, Suíça, 2008.

JOHNSON, M. P.; SWETNAM, L. D. **Sprayer nozzles: selection and calibration**. Lexington: University of Kentucky, 1996. 6 p.

MARCHESI, B. B. **Efeitos de formulações e intervalos sem chuva na absorção, translocação e eficácia de glyphosate e 2,4-D**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016.

MARCHI, S. R. *et al.* Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 287–294, 2005.

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

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Formulation of pesticides. *In*: **Pesticide application methods**. 4.ed. Oxford: John Wiley & Sons, p. 63-89, 2014
MILLER, M. R.; NORSWORTHY, J. K. Evaluation of herbicide programs for use in 2,4-D-Resistent soybean technology for control of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Weed Science Society of America**. 2015.

MONQUERO, P. A. *et al.* Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 445-451, 2004.

MOREIRA, Caio Alexandre Ferreira. **Espectro de gotas e deriva de diferentes formulações dos herbicidas 2, 4-D e Glyphosate aplicadas com pontas de jato plano com e sem indução de ar**. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2016.

MOREIRA JUNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009, 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009

MOTA, A. A. B. *et al.* Espectro de gotas da pulverização de herbicida com e sem a adição de adjuvante de calda. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010.

MOTA, A. A. B. *et al.* **Influência de adjuvantes no espectro de gotas e pontas com indução de ar e pré-orifício na aplicação de caldas contendo glyphosate**. *In*: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE - USO SUSTENTÁVEL, 2011, Botucatu. **Anais**. Botucatu: Fepaf, 2011. v. 1, p. 357 - 364.

MOTA, A. A. B. **Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2, 4-D amina em misturas em tanque**. 2015. ix, 56 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

MUGELE, R. A.; EVANS, H. D. Droplet size distribution in sprays. **Industrial and engineering chemistry**, v. 43, n. 6, p. 1317-1324. 1951.

NICE, G.; JOHNSON, B.; BAUMAN, T. Amine or Ester, which is better? **Purdue Extension Weed Science**. 2004.

OLIVEIRA, R. B. D. E. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 121 f. Teste (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p.986-992, 2013.

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

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 35–40, 2007.

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

QUEIROZ, M. F. P. *et al.* Efeito de dois tipos de formulações no espectro de gotas de caldas de pulverização contendo herbicidas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 30., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Ufsc, 2016. v. 1, p. 110 - 111.

RAETANO, C. G; CHECHETTO, R. G. Adjuvantes e formulações. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2. ed. rev. ampl. cap. 2, p. 29-45.

RAETANO, C. G; MOTA, A. A. B. Pontas de pulverização hidráulicas. *In*: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. 2. ed. rev. ampl. cap. 4, p. 67-89.

RAMOS, H. H. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, p. 275-283, 2000.

RAMOS, H.; DURIGAN, J. C. Avaliação da eficiência da mistura pronta de glyphosate + 2,4-D no controle da Comelina virginica L. em citros. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 33–41, 1996.

REGITANO, J. B.; CASTRO, N. R. A.. Sorção e dessorção do glyphosate no solo. *In*: VELINI, E. D. *et al.* **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, 2009. Cap. 8. p. 153-178.

RIBEIRO, T. **Avaliação da vazão de pontas de pulverização hidráulica de jato plano**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174488/TCC%20-%20TIAGO%20RIBEIRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 dez. 2019

ROMAN, E. S. *et al.* **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2007. 158 p.
SASAKI, R. S. *et al.* ESPECTRO DAS GOTAS PRODUZIDAS POR PONTAS DE JATO PLANO DUPLO DEFASADO COM INDUÇÃO DE AR. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 3, p. 211, 2016.

SANTOS, J. M. F. D. *et al.* Pulverização uso correto e adequado do turbo atomizador em cultivos citrícolas. **Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 10, n. 59, ago. 2007.

SEVERINO, L. S. *et al.* Sintomas de fitotoxicidade causada pelo herbicida 2,4-D em plântulas de mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 785–787, 2004.

STEINRÜCKEN, H. C.; AMRHEIN, N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 94, n. 4, p. 1207-1212, 1980.

TATE, R. W.; JANSSEN, L. F. Droplet size data for agricultural spray nozzles. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 9, p. 303-308, 1966

TAKANO, H. K. *et al.* Efeito da adição do 2, 4-D ao glyphosate para o controle de espécies de plantas daninhas de difícil controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2013.

TU, M.; CALLIE, H.; RANDALL J.M. The herbicides: Herbicide Table a) 2,4-D. *In*: TU, M.; CALLIE, H.; RANDALL J.M. **Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas**. The Nature Conservancy, 2001, p. 7-10.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Embrapa Trigo, Passo Fundo 2006.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Conceitos e aplicações dos adjuvantes. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm. Acesso em 8 dez. 2017.

WANG, C.J.; LIU, Z.Q. Foliar uptake of pesticides: present status and future challenge. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v.87, p.1-8, 2007.