

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**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**

**CAIO ALEXANDRE FERREIRA MOREIRA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia (Energia na  
Agricultura)

BOTUCATU – SP

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**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**

**CAIO ALEXANDRE FERREIRA MOREIRA**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia (Energia na  
Agricultura)

BOTUCATU – SP

2016

M838e      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 / Caio Alexandre Ferreira  
Moreira. -- Botucatu, 2016  
60 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. 2,4-D colina. 2. Glyphosate. 3. Mistura em tanque. 4. Túnel de vento. 5. Pontas de pulverização. 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: “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”

AUTOR: CAIO ALEXANDRE FERREIRA MOREIRA

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  
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônoma - UNESP



Prof. Dr. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB  
Departamento de Agronomia / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA



Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI  
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA  
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. RONE BATISTA DE OLIVEIRA  
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Estadual do Norte do Paraná - Campus Luiz Meneguel

Botucatu, 06 de dezembro de 2016.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VI
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 Glyphosate.....	15
2.1.1 Histórico .....	15
2.1.2 Soja <i>Roundup Ready</i> (RR).....	16
2.1.3 Resistência de plantas daninhas ao glyphosate.....	17
2.1.4 Glyphosate associado com 2,4-D .....	18
2.1.5 Tecnologia de aplicação .....	19
2.1.6 2, 4-D e deriva na aplicação de herbicidas .....	20
2.1.7 Técnica de redução de deriva (TRD).....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Instalação do experimento .....	25
3.2 Tratamentos .....	25
3.3 Avaliação do potencial de deriva .....	28
3.4 Análise de espectro de gotas.....	32
3.5 Análises estatísticas dos dados .....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1 Espectros de gotas .....	35
4.1.1 Diâmetro mediano volumétrico (DMV).....	35
4.1.2 Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105 $\mu\text{m}$ ( $\% < 105$ ) 41	
4.2 Índice de deriva .....	46
5. CONCLUSÕES .....	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Descrição dos tratamentos – Pontas e códigos utilizados

Tabela 2. Descrição dos produtos e doses utilizadas para as análises de deriva e espectro de gotas.

Tabela 3. Descrição dos produtos e doses utilizadas para as análises de deriva e espectro de gotas.

Tabela 4. Descrição das pontas de pulverização e abreviaturas.

.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Túnel de vento utilizado para análises de deriva
- Figura 2. Esquema da seção de testes do túnel de vento com as dimensões e posicionamento de cada componente.
- Figura 3. Bico de pulverização (a), região de captura das imagens para análise das características do espectro de gotas (b) e analisador de partículas por imagens VisiSize Portable (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.) (c).
- Figura 4. Software (Visisize Particle Sizing) analisando o tamanho das gotas pulverizadas em tempo real.
- Figura 5. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações de 2,4-D (DMA e ENL). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 6. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações de 2,4-D (DMA e ENL). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 7. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 8. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 9. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta de calda contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 10. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de calda contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

- Figura 11. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 12. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 13. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 14. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 15. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 16. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\% < 105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 17. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 18. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 19. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).
- Figura 20. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).



Figura 21. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Figura 22. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

## RESUMO

A correta aplicação de produtos fitossanitários resulta em minimização de perdas, e mitigação de danos ambientais. A busca por uma operação de aplicação otimizada tornou a mistura em tanque de produtos fitossanitários uma prática comumente utilizada em todo o mundo. Entretanto, a mistura em tanque pode resultar em alterações físicas na calda, interferindo no espectro de gotas e no risco de deriva. Técnicas para redução de deriva devem ser utilizadas neste processo, especialmente na aplicação de herbicidas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o espectro de gotas e o potencial de deriva gerado por caldas contendo os herbicidas 2,4-D e glyphosate em diferentes condições de misturas, aplicadas com duas pontas diferentes. Em uma formulação composta de herbicida 2,4-D sal colina incluindo uma tecnologia para redução da deriva. Esta formulação foi comparada a uma formulação convencional de 2,4-D sal dimetilamina (DMA) de maneira isolada e em pré mistura com glyphosate (sal potássico e sal dimetilamina) e uma mistura pronta (2,4-D sal colina + glyphosate sal dimetilamina). Para isto foram comparados vinte tratamentos, sendo cada tratamento representado por uma calda, constituídas das misturas ou não entre os herbicidas. As avaliações dos tratamentos foram realizadas em dois experimentos. O primeiro pulverizado com uma ponta de jato plano de uso estendido (Teejet XR 11002) e outro com uma ponta jato plano de indução de ar (Teejet AIXR 11002). A pressão de trabalho foi de 280 kPa para as duas pontas. O Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) e o percentual de gotas menores do que 105  $\mu\text{m}$  (V105) foram obtidos a partir de um sistema automático de análise de partículas (VisiSizer/Oxford Lasers Ltd/UK). O índice de deriva (ID) foi determinado em túnel de vento operando com vento de 2,5  $\text{m s}^{-1}$ , observando-se a deriva a 2 metros de distância das pontas. Todos os resultados foram comparados pelo Intervalo de Confiança para diferenças entre as médias a 95 % de probabilidade (IC95%). Tanto para a ponta de pulverização XR quanto para a ponta AIXR, as formulações contendo 2,4-D colina com a tecnologia para redução de deriva, aplicadas de forma isolada ou em misturas com glyphosate (sal potássico e sal dimetilamina), aumentaram o DMV e diminuíram o %<105 e ID, reduzindo o potencial de deriva comparado a formulação convencional de 2,4-D sal dimetilamina aplicada de forma isolada e em mistura com glyphosate (sal potássico e sal dimetilamina). Este comportamento se repetiu para a mistura pronta de 2,4-D sal colina + Glyphosate sal dimetilamina comparado

misturas em tanque convencionais contendo 2,4-D sal dimetilamina com glyphosate (sal potássico e sal dimetilamina). As formulações 2,4-D colina e 2,4-D sal colina + Glyphosate sal dimetilamina aplicadas com a ponta AIXR comportam-se como uma Técnica de Redução de Deriva (TRD) comparado a formulação convencional de 2,4-D dimetilamina.

Palavras-chave: 2,4-D colina, glyphosate, mistura em tanque, túnel de vento e pontas de pulverização.

**DROPLET SPECTRA AND DRIFT OF DIFERENTS FORMULATIONS OF THE HERBICIDES 2, 4-D AND GLYPHOSATE APPLIED WITH NOZZLES PLANE WITH AND WITHOUT INDUCTION AIR.** Botucatu, 2016. 63 p.

Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista.

Author: Caio Alexandre Ferreira Moreira

Adviser: Ulisses Rocha Antuniassi

**ABSTRACT**

The correct application of pesticides results in loss minimization, and mitigation of environmental damage. The search for an optimal implementation of operation has the mixture in a practical defensive tank commonly used throughout the world. However, the tank-mix can result in physical changes in the spray solution, interferes with droplet spectrum and the risk of drift. Drift reduction techniques to be used in this process, including the application of herbicides. In this context, this study aims to evaluate the spectrum of drops and the potential drift generated by spraying solutions containing the herbicide 2,4-D and glyphosate in different conditions of mixtures applied with two different nozzles. A formulation containing 2,4-D salt choline including a technology for reduction of drift was used. This formulation was compared to a conventional formulation of 2,4-D dimethylamine salt (DMA) in isolation and premix with glyphosate (potassium salt and dimethylamine salt) and a ready mixed (2,4-D + glyphosate salt choline salt dimethylamine). Twenty treatments were compared, each treatment being represented by a spray solution consisting of mixtures of herbicides or not. The treatments were evaluated in two experiments. A sprayed with a jet nozzle extended use plan (Teejet XR 11002) and one with a nozzle jet air induction plan (Teejet AIXR 11002) both at 280 kPa. The Volumetric Median Diameter (VMD) and the percentage of droplets smaller than 105  $\mu\text{m}$  (V105) were obtained from an online particle analysis system (VisiSizer / Oxford Lasers Ltd / UK). The drift index (DI) was determined in a wind tunnel with wind operating 2.5  $\text{m s}^{-1}$ , determining the drift to 2 meters away from the nozzles. All results

were compared by the confidence interval for difference between means 95% probability (95%). Both for the XR spray nozzle as to AIXR nozzle, comparing the results from the formulations of 2,4-D salt containing choline drift reduction technology and 2,4-D DMA salt, applied alone and in mixed with glyphosate treatments containing formulation with 2,4-D provided lower choline salt potential drift, based on the spectral data and drops wind tunnel, increasing the VMD, reducing the percentage V105 content and drift

**Keywords:** 2,4-D choline, glyphosate, tank mix, wind tunnel and nozzles

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio representa a maior parte da economia brasileira, o que contribui para o fornecimento de emprego para grande parte da população, direta ou indiretamente. A produção agrícola brasileira é ampla e diversa, na qual várias espécies são cultivadas, como soja, arroz, milho, algodão, cana-de-açúcar entre outras. Todas estas culturas agrícolas necessitam de instruções e cuidados para produção com maior quantidade e qualidade. Para isso, dentre vários outros fatores, os cuidados com fitossanitários são essenciais, utilizando-se então de inseticidas, herbicidas, fungicidas, acaricidas e outros.

De todos os produtos fitossanitários utilizados atualmente, o herbicida glyphosate destaca-se, sendo o mais utilizado no mundo. No ano de 2015 no Brasil foram importados 60% dos herbicidas utilizados no país, dentro desta porcentagem 45% foi representado pelo herbicida glyphosate (SINDAVEG, 2015).

Um dos fatores determinantes para o aumento do consumo deste herbicida foi o surgimento da soja transgênica ou *Roundup Ready* (RR) tolerante ao glyphosate, que possibilitou a utilização desse herbicida na pós-emergência da cultura da soja, que antigamente era restrita em dessecações da planta em pré-semeadura ou pré-emergência. Todavia, o uso deste herbicida se espalhou pelas lavouras brasileiras, gerando um cenário favorável para desenvolvimento de plantas daninhas com alguma resistência a este produto. Observando também a relevância para as questões relacionadas ao plantio direto.

Diante essa situação, o herbicida 2,4-D se demonstra como mais uma ferramenta no controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate. Além de ser um dos herbicidas mais utilizados no mundo, o 2,4-D é conhecido por ser seletivo para o controle de espécies de plantas dicotiledôneas, quando utilizado em mistura em tanque com herbicidas não seletivos, como o glyphosate, amplia as possibilidades de controle. Ainda pode se destacar que o uso em mistura desses herbicidas resulta em um efeito colaborativo, no controle de plantas daninhas, incluindo aquelas resistentes ao glyphosate.

A deriva é um problema existente em toda aplicação de produtos fitossanitários, embora seja mais evidente para a classe dos herbicidas. Quando se trata do 2,4-D e casos de fitotoxicidade existem sintomas característicos, que são facilmente identificados mesmo em baixas doses.

A prática da mistura em tanque de produto fitossanitário de diferentes princípios ativos é bem difundida em todo o mundo e no Brasil, além da mistura do produto fitossanitário com adjuvante. Ambas misturas quando são realizadas podem ocasionar mudanças nas características físicas da calda e conseqüentemente prejudicarem de forma direta na formação do espectro de gotas. Porém essas alterações nem sempre são possíveis de se prever.

Com o surgimento de novas formulações de produtos fitossanitários, faz-se necessário a identificação de possíveis problemas decorrentes da prática agrícola de misturas de produtos. Para assim a pulverização se desenvolva de forma segura e responsável.

Ainda pode-se lançar mão do uso de formulações que utilizem misturas prontas previamente, para dessa forma evitar realizar a mistura em tanque. E também o uso de pontas de pulverização adequadas a essas novas formulações, para evitar a ocorrência de deriva, pois cada formulação pode ter uma dinâmica diferente durante a aplicação dos produtos fitossanitários.

Diante disto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o espectro de gotas e o potencial de deriva gerado por caldas contendo os herbicidas 2,4-D e glyphosate, aplicadas com pontas de jato plano com e sem indução de ar.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Glyphosate**

#### **2.1.1 Histórico**

A molécula do glyphosate foi descoberta por um químico suíço, Henri Martin, que trabalhava na empresa farmacêutica Cilag. Inicialmente testada pela indústria farmacêutica no ano de 1950, seu uso como herbicida somente foi relatado no início da década de 70, quando foi sintetizado por pesquisadores químicos da Monsanto (GRAVENA, 2006).

O herbicida começou a ser posicionado na agricultura como uma solução para o controle de plantas daninhas perenes. Demonstrando-se muito eficiente, o uso se expandiu principalmente por não haver na época alternativas comerciais adequadas, tornando-se assim a principal opção para o controle de plantas daninhas, nos diferentes sistemas de produção agrícola (HALTER, 2009). Os primeiros países a comercializarem o glyphosate foram a Malásia e o Reino Unido e dois anos depois os Estados Unidos. Seu registro na Malásia era para o uso em cultivos de seringueira, no Reino Unido para o trigo e nos Estados Unidos primeiramente seu uso se dava em áreas não agrícolas e logo após para quatro culturas e dez espécies de plantas daninhas (HALTER, 2009).

No Brasil as primeiras amostras para testes chegaram em 1972 e em 1978 o produto, começou a ser importado, para ser comercializado. Ele passou a ser



produzido no Brasil em 1984. Hoje está presente em mais de 120 países com mais de 150 marcas comerciais (GALLI & MONTEZUMA, 2009).

O glyphosate é um herbicida sistêmico, aplicado em pós-emergência das plantas daninhas, sendo o herbicida mais utilizado no mundo, com o mercado em constante crescimento, devido ao controle eficaz que exerce sobre as plantas daninhas, aliado às características positivas, quanto aos aspectos ecotoxicológicos, toxicológicos, aumento da produtividade agrícola, baixo custo, fácil manuseio, entre outros (FRANZ, 1985; QUINN 1993; GALLI, 2009; VELINI et al., 2009).

Segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (SINDAVEG, 2016), a classe mais importada de produtos fitossanitários no ano de 2015 foi a dos herbicidas, representando 60% da classe. Dentre os herbicidas com maior demanda de mercado destaca-se o glyphosate, representando 45% da classe, devido ao uso em diversas culturas.

### **2.1.2 Soja *Roundup Ready* (RR)**

A produção de soja brasileira representa 29% da produção mundial, ficando o Brasil como o segundo maior produtor mundial do grão (CONAB, 2015). Estimativas apresentaram que 94,2% da área cultivada de soja, no Brasil na safra 2014/15 foi produzida com cultivares geneticamente modificadas (GM resistentes a insetos e/ou planta daninhas), tornando o Brasil segundo maior país no ranking mundial de adoção da biotecnologia agrícola segundo dados do International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA, 2015).

A soja RR recebeu a tecnologia *Roundup Ready*® para que obtivesse maior resistência ao herbicida *Roundup*, para um maior controle de espécies de plantas daninhas, desde então, vários produtores têm adotado essa tecnologia para melhoria do desempenho produtivo e aumento de produtividade (LEITÃO et al., 2010).

Reis et al. (2010) afirmam que a soja RR foi uma das grandes inovações promovidas pela engenharia genética na agricultura, que representa uma nova alternativa no controle pós-emergente de plantas daninhas, com o uso de um herbicida de ação total.

A introdução das tecnologias GM proporcionam para o agricultor diversos benefícios já constatados, como aumento de produtividade, redução no uso de

ingrediente ativo e nas aplicações de produtos fitossanitários e ganho operacional. Entretanto com a facilidade de manejo que a soja RR proporciona para o agricultor, pode fazer com que o mesmo não se atente para o risco que a tecnologia poder trazer com o uso contínuo, podendo leva-lo ao descuido com as boas práticas agrícolas.

O uso repetitivo de um mesmo herbicida no sistema de produção RR ou convencional, pode trazer consequências como; a ineficiência da tecnologia, parcial ou total, favorecendo o aparecimento da resistência nas lavouras.

Nas áreas de produção de soja RR observou-se o uso contínuo e excessivo do glyphosate. Dessa maneira, além da dessecação em pré-semeadura, efetua-se ainda uma única ou duas aplicações do herbicida. E com a recente liberação das cultivares de milho transgênico resistente ao glyphosate, verificou-se a semeadura de cultivares de milho com tecnologia RR, em sucessão à soja RR, o que aumentou ainda mais a seleção de espécies resistentes e/ou tolerantes ao glyphosate (IKEDA, 2013).

### **2.1.3 Resistência de plantas daninhas ao glyphosate**

A resistência de plantas daninhas a herbicidas pode ser definida como “a habilidade de uma planta sobreviver e continuar a se reproduzir, após a exposição de uma dose de herbicida que normalmente seria letal para o biótipo selvagem da planta” (WEED SCIENCE, 2016)

Segundo Heap (2016), a resistência de plantas daninhas pode ocorrer de duas maneiras, de forma natural, onde uma população de ocorrência natural pode ser selecionada através do uso contínuo de um mesmo herbicida, ou de forma induzida, através da engenharia de técnicas genéticas.

O uso repetido de herbicidas com mecanismos de ação similares, nas últimas décadas tem se notado o aumento na pressão de seleção de populações de plantas daninhas, favorecendo o surgimento de biótipos resistentes (YAMASHIDA E GUIMARÃES, 2013).

Anos após a comercialização da soja RR, tem-se observado uma tendência das empresas de produtos fitossanitários investirem em empresas produtoras de sementes, adquirindo biotecnologia. Assim, perante as dificuldades encontradas no manejo de plantas daninhas com glyphosate, vêm sendo também desenvolvidas cultivares de tolerantes a outros herbicidas, como 2,4-D (IKEDA, 2013).

A soja geneticamente modificada resistente aos herbicidas 2,4-D, glyphosate e glufosinato de amônia é uma nova tecnologia relacionada a estes herbicidas, ainda não disponível, porém está em fase de aprovação para comercialização pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), registrada com o nome comercial de Enlist (Dow AgroSciences) e permitirá a aplicação do 2,4-D em pós-emergência na cultura da soja em variedades com tecnologia de resistência ao herbicida (MOTA, 2015).

Com constante crescimento de plantas daninhas resistentes a um ou mais mecanismos de ação, o herbicida 2,4-D é uma alternativa no manejo dessa resistência. No Brasil encontra-se registrados 34 casos de plantas daninhas apresentando algum tipo de resistência a herbicidas, desse total, 22 espécies (65%) estão associados aos herbicidas inibidores da ALS ou inibidores da EPSPS (THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS; 2015).

#### **2.1.4 Glyphosate associado com 2,4-D**

Em se tratando de plantas daninhas resistentes, as misturas em tanque de herbicidas torna-se uma importante aliada. Nas áreas cultivadas com grãos, as dessecações na entressafra para o manejo de plantas daninhas costumam ser feitas com pelo menos dois herbicidas, simultaneamente. A mistura de herbicidas com diferentes mecanismos de ação pode resolver os problemas com as espécies resistentes ao glyphosate, como *Conyza spp.*, *D. insularis* e *L. multiflorum*, em campo (VARGAS et al., 2013).

Um caso comum de misturas em tanque ocorre entre os herbicidas 2,4-D e glyphosate (GANDOLFO, 2014). Por apresentarem diferentes mecanismos de ação, os dois herbicidas se complementam quando misturados, proporcionando melhor controle de diferentes espécies de plantas daninhas (VIDAL, 1999). Segundo Procópio et al. (2009) o herbicida 2,4-D aumenta a velocidade de translocação do glyphosate via floema dentro da planta, facilitando o acesso de produtos aos meristemas, o que acarreta em melhorias na aplicação utilizando esta mistura.

Mota (2015) afirma que mesmo estando presente no mercado há muitos anos, ainda existem muitos questionamentos relacionados a aplicação do herbicida

2,4-D, principalmente em relação à deriva em culturas susceptíveis, existindo a necessidade de exploração deste assunto em suas condições de uso.

Duas formulações do 2,4-D eram produzidas, sendo elas éster e amina (GROVER et al., 1972). Apesar de mais eficaz, devido a sua alta volatilidade, a formulação éster não é comercializada no Brasil. Atualmente existe uma nova formulação do 2,4 D, chamada de colina, essa formulação consiste em um sal de amônia quaternária, com maior potencial de redução de gotas finas, volatilidade e odor, quando esta é comparada com as outras duas formulações existentes, no entanto esta formulação ainda não é comercializada no Brasil (SOSNOSKIE et al., 2015). Essa formulação então, surge como uma nova tecnologia capaz de controlar espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas, incluindo o glyphosate (MILLER E NORSWORTHY, 2015).

### **2.1.5 Tecnologia de aplicação**

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é entendida como a utilização de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, aplicando-se de forma econômica a quantidade necessária de produto e minimizando a contaminação de outras áreas (MATUO, 1998).

Com principal função de proteção das culturas agrícolas contra pragas, doenças ou plantas daninhas, os defensivos agrícolas são uma parte integrante do manejo fitossanitário de plantas, e, quando manipulados de maneira racional, maximizam o potencial produtivo vegetal, reduzindo custos e contribuindo para a qualidade de alimentos e sementes e produção de energia (RAETANO, 2011). O autor também esclarece que a devido à falta de conhecimento, os abusos negligenciados, o grau de risco, as inter-relações do produto com o ambiente e a periculosidade necessita-se um maior comprometimento no uso dos produtos fitossanitários.

O objetivo da pulverização de produtos fitossanitários é alcançado quando é realizado de forma correta a seleção das pontas de pulverização e o ajuste do volume de calda do produto, considerando o momento adequado para aplicação, as condições do meio ambiente, tipo do alvo, modo de ação do produto e suas recomendações agrônomicas (ANTUNIASSI, 2012).

O uso de defensivos agrícolas contribui para o fortalecimento da agricultura brasileira, fornecendo melhor qualidade dos produtos agrícolas, redução dos

custos e aumento da produção, desde que esse uso ocorra de maneira racional na proteção integrada de plantas, evitando-se a contaminação do solo e da água, surgimentos de plantas e patógenos resistentes e danos à saúde humana e animal (CUNHA et al., 2003).

De acordo com Cunha et al. (2004) na aplicação de defensivos agrícolas é comum a utilização de uma maior quantidade de ingrediente ativo, o que poderia ser mitigado através de mais informações para o agricultor.

Segundo Carvalho (2013) as relações entre taxas de aplicação e a cobertura dos alvos, os adjuvantes de calda, as pontas de pulverização e os equipamentos para pulverização são alguns fatores e tecnologias que têm sido mais pesquisados para melhoria nas aplicações e que quando utilizados corretamente em associação uns com os outros, constituem o conceito de tecnologia de aplicação.

#### **2.1.6 2, 4-D e deriva na aplicação de herbicidas**

O conceito de deriva é definido genericamente como a calda que é pulverizada e que não atinge o alvo desejado, ocasionada pelo vento ou por evaporação (MATUO, 1990; CHRISTOFOLETTI, 1999; MILLER, 2004) ou por escorrimento do produto após atingir a superfície do alvo (ANTUNIASSI, 2009).

A deriva é um problema potencial em qualquer aplicação agrícola e as consequências em herbicidas são mais evidentes, que em grande parte dos casos, têm seu efeito visualmente perceptível em plantas susceptíveis (MOTA, 2015).

Historicamente sabe-se das elevadas taxas de deriva em herbicidas do grupo das auxinas sintéticas (MILLER E NORSWORTHY, 2015), neste grupo de herbicidas, o 2,4-D é o principal produto utilizado e existem dúvidas sobre o seu uso em relação à segurança ambiental (SOUZA; CUNHA; PANINI, 2012). Costa (2006) afirma que mesmo no caso de aplicação com 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.

Com o objetivo de avaliar o potencial de deriva em condições controladas de túnel de vento, Mota (2015) concluiu que o risco de deriva é impactado com a mistura em tanque de 2,4-D com outros produtos. Gandolfo et al. (2012) também encontraram efeitos da mistura de 2,4-D com glyphosate em tanque, na deriva por carregamento de gotas em túnel de vento.

Em relação ao herbicida 2,4-D, existem casos registrados de deriva em culturas como algodão, videira e em hortaliças (GAZZIERO et al., 2000). Existem registros no estado do Paraná de videiras afetadas por este herbicida, quando inseridas em regiões de produção de grãos, e o 2,4-D é utilizado no controle de plantas daninhas (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2007).

Existem relatos de efeitos fitotóxicos do 2,4-D em espécies cultivadas susceptíveis, mesmo em subdoses, danos foram encontrados em videira (OLIVEIRA JR. et al., 2007), mamona (SEVERINO et al., 2004), algodão (CONSTANTIN et al., 2004) e fumo (CONSTANTIN et al., 2003). Contudo, poucos trabalhos apresentam a dimensão dos possíveis danos deste herbicida (CONSTANTIN et al., 2007), o que para Mota (2015) se deve pela complexidade e pelos inúmeros fatores que podem estar relacionados à deriva como também a seus efeitos fitotóxicos.

### **2.1.7 Técnica de redução de deriva (TRD)**

O sucesso na aplicação de produtos fitossanitários só é alcançado com auxílio de pontas de pulverização que permitem distribuição transversal uniforme, propiciando um espectro de gotas e tamanho adequado (CUNHA, 2003). Isso pode ocorrer devido às funções das pontas que são de fracionar o líquido, distribuírem as gotas e regular a saída do líquido por unidade de área (SIDAHMED, 1998; MASIÁ; CID, 2010).

Conceitua-se como técnicas para redução da deriva (TRD), a combinação de fatores com o objetivo de minimizar as perdas por deriva, como o uso de pontas de indução de ar, por oferecerem menor risco potencial de deriva, se comparada a uma ponta para pulverização convencional, ou ainda o emprego de adjuvantes em misturas em tanque, que apresentem alguma redução no risco potencial de deriva (CARVALHO et al., 2011; ANTUNIASSI 2013).

Para o uso das técnicas para redução da deriva, devem-se levar em consideração os princípios básicos para a realização da aplicação de defensivos (MOTA, 2015). Segundo Antuniassi (2013) para haver sucesso em uma aplicação de produtos fitossanitários, é necessário que se utilize uma técnica de aplicação mais adequada, que é definida pela escolha do tamanho de gotas e taxas de aplicação.

Entre os fatores para definição de uma técnica de aplicação deve-se levar em consideração as condições climáticas do ambiente, pois ela está diretamente relacionada aos riscos de perdas por deriva. De acordo com Oskan (1998), de uma maneira geral, considera-se como condições climáticas ideais para realizar uma aplicação, umidade relativa do ar acima de 55%, temperatura do ar abaixo de 30° C e ventos em média de 3 a 10 km h<sup>-1</sup>. Temperaturas inferiores a 15° C devem ser evitadas, devido a menor atividade fisiológica das plantas; reduzindo a absorção de produtos que apresentam algum grau de instabilidade física ou química (AZEVEDO; FREIRE, 2006). Aplicações na ausência de ventos não são recomendadas, por haver a probabilidade de ocorrer fenômenos atmosféricos, como inversão térmica e corrente de ar convectiva, o que conseqüentemente prejudicaria a deposição das gotas pulverizadas (MATTHEWS, 2000). Antuniassi (2009) afirma que os limites para a pulverização esta relacionado com a classe de gotas, em que gotas com diâmetros maiores suportam mais os aumentos de temperatura e as diminuições na umidade relativa do ar.

A ponta de pulverização é um dos componentes mais importante no processo de formação de gotas, segundo Matthews (2000), o líquido sob pressão passando pelo orifício das pontas de modo que haja uma velocidade suficiente para que estes se desintegram e forme gotas que podem ser de vários tamanhos.

As pontas de pulverização com indução de ar foram desenvolvidas com a finalidade de redução do potencial de deriva. Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos que comprovam sua eficiência (BALAN et al., 2008; CHECHETTO et al., 2013; COSTA et al., 2012; DERKSEN et al., 1999; FIETSAM; YOUNG; STEFFEN, 2004; MOTA; ANTUNIASSI, 2013) esses trabalhos foram realizados em diversas condições, como estudos comparativos em túnel de vento, em campo ou por meio da análise do espectro de gotas.

Pontas de indução de ar seguem o princípio de funcionamento de um tubo de Venturi (BUTLER ELLIS et al., 2002) onde as bolhas de ar são induzidas na calda através de orifícios (laterais ou inferiores) dão passagem ao ar atmosférico direcionando até uma câmara de mistura antes do orifício final de saída de líquido, isto permite que as gotas pulverizadas tenham bolhas de ar em seu interior (FAGGION, 2008). Essa mecânica embutida nesse modelo de ponta contribui para a formação de gotas maiores e a diminuição da porcentagem de gotas deriváveis (MATTHEWS, 2008). Estudos realizados com pontas de indução de ar demonstram resultados como; a redução

na deriva de 70% a 90% comparado a uma ponta jato plano convencional (ARVIDSSON; BERGSTRÖM; KREUGER, 2011).

A formação de uma gota é resultado da combinação entre a ponta e o líquido pulverizado sendo, o desempenho da ponta pode ser alterado de maneira significativa pelas características dos líquidos (DE RUITER, 2002).

As peculiaridades físicas do líquido pulverizado como viscosidade e a tensão superficial interferem no tamanho de gotas produzido numa pulverização, desta forma quanto maior forem os valores de viscosidade e tensão superficial, aumenta a necessidade de energia para a pulverização, gerando assim interferência nos espectro de gotas pulverizado (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A formulação de produtos é constituída com o ingrediente ativo e outros elementos químicos, incluindo os adjuvantes que são adicionados para aumentar a eficiência e ação na aplicação de fertilizantes foliares e produtos fitossanitários para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas (BUTLER ELLIS et al., 1997). Pode-se concluir que além dos adjuvantes as formulações dos produtos podem causar uma interferência nas características físicas químicas das caldas.

Maciel et al. (2009), avaliando a qualidade da deposição e as características físico-química de caldas contendo duas formulações de herbicidas glyphosate, compostos por sal de isopropilamina, *Polaris* (1500 ml pc ha<sup>-1</sup>) e *Roundup Ready* (1125 ml pc ha<sup>-1</sup>), aplicados isolados e em mistura com clorimurum (*Classic* 30 g pc ha<sup>-1</sup>). Segundo os autores, ambas as formulações de glyphosate apresentaram a diminuição da tensão superficial, tanto quando aplicados isolados ou em misturas com clorimuron, em comparação com água e clorimuron. Foi observado a diminuição da tensão superficial entre as formulações de glyphosate, tanto quando avaliados isoladamente e em mistura com clorimuron, onde o *Roundup Ready* apresentou a maior redução da tensão superficial.

Apesar de ser reconhecida a influência das propriedades físico-químicas nas características das caldas, Antuniassi e Baio (2008) e Durigan e Correia (2008) enfatizam para os problemas associados ao uso inadequado de adjuvantes pelo desconhecimento de sua ação, que pode até prejudicar a ação da formulação principal ou então não ocasionar alterações significativas, que tornaria o uso de adjuvante desnecessário.

Hewitt (2007) afirma que é preciso mais informações sobre as propriedades físicas da grande variedade das misturas de tanque e adjuvantes, e da



influência desta no espectro de gotas, especialmente em outros sistemas de pulverização, como pontas hidráulicas.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Instalação do experimento**

O experimento foi realizado no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA), no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), *Campus* de Botucatu – SP.

#### **3.2 Tratamentos**

Foram realizados dezoito tratamentos contendo herbicidas e mais dois tratamentos apenas com água, que serviram como parâmetro para as análises, somando assim um total de 20 tratamentos (Tabela 1). Cada um dos dezoito tratamentos foi representado por uma calda constituída ou não da mistura entre herbicidas (Tabela 2), com quatro repetições. Os princípios ativos e nomes comerciais de cada produto estão descritos na Tabela 3. Os tratamentos foram realizados em dois experimentos. No primeiro, as caldas foram aplicadas utilizando uma ponta de jato plano com uso estendido sem indução de ar e no segundo com uma ponta jato plano com indução de ar (Tabela 4). Foram utilizadas doses recomendadas pelos fabricantes, diluídas, simulando uma taxa de

aplicação a 80 Lha<sup>-1</sup> e pulverizadas a 280 kPa. Cada calda foi preparada com água deionizada no mesmo dia em que foi feita sua análise.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos – Pontas e códigos utilizados.

<b>Tratamentos</b>	<b>Pontas</b>	<b>Código</b>
T1	11002 XR	Água
T2	11002 XR	DMA
T3	11002 XR	DMA + GP
T4	11002 XR	DMA + RT
T5	11002 XR	DMA + ZQ
T6	11002 XR	DUO
T7	11002 XR	ENL
T8	11002 XR	ENL + GP
T9	11002 XR	ENL + RT
T10	11002 XR	ENL + ZQ
T11	11002 AIXR	Água
T12	11002 AIXR	DMA
T13	11002 AIXR	DUO
T14	11002 AIXR	ENL
T15	11002 AIXR	DMA + GP
T16	11002 AIXR	DMA + RT
T17	11002 AIXR	DMA + ZQ
T18	11002 AIXR	ENL + GP
T19	11002 AIXR	ENL + RT
T20	11002 AIXR	ENL + ZQ

Tabela 2. Descrição dos produtos e doses utilizadas para as análises de deriva e espectro de gotas.

<b>Produtos</b>	<b>Dose (pc.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Produto 2</b>	<b>Dose (pc.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Código</b>
Enlist <sup>TM</sup> ColexD <sup>TM*1</sup>	1,50	-	-	ENL
DMA <sup>®</sup> 806 BR*	1,13	-	-	DMA
Enlist <sup>TM</sup> Duo ColexD <sup>TM 1**</sup>	3,50	-	-	DUO
Enlist <sup>TM</sup> ColexD <sup>TM 1</sup>	1,50	GliMaxPrime	1,50	ENL + GP
Enlist <sup>TM</sup> ColexD <sup>TM 1</sup>	1,50	Transorb R	1,50	ENL + RT
Enlist <sup>TM</sup> ColexD <sup>TM 1</sup>	1,50	Zapp QI	2,50	ENL + ZQ
DMA <sup>®</sup> 806 BR	1,50	GliMaxPrime	1,35	DMA + GP
DMA <sup>®</sup> 806 BR	1,13	Transorb R	2,50	DMA + RT
DMA <sup>®</sup> 806 BR	1,13	Zapp QI	2,50	DMA + ZQ

**Dose:** Simulando uma taxa de aplicação de 80 L ha<sup>-1</sup>

\*Produtos isolados

\*\* Produto com mistura pronta

<sup>1</sup>Formulação em fase de registro no Brasil.

Tabela 3. Descrição do nome comercial, código e ingrediente ativo dos produtos utilizados para análise de deriva e espectro de gotas.

<b>Nome comercial</b>	<b>Código</b>	<b>Ingrediente ativo</b>
DMA <sup>®</sup> 806 BR	DMA	2,4-D sal dimetilamina
Enlist <sup>TM</sup> Colex-D <sup>TM</sup>	ENL	2,4-D sal colina
Enlist <sup>TM</sup> Duo Colex-D <sup>TM</sup>	DUO	2,4-D sal colina + glifosato sal dimetilamina
Glimax <sup>®</sup> Prime	GP	glyphosate sal dimetilamina
Transorb R	RT	Glyphosate sal potássico
Zapp QI	ZQ	Glyphosate sal potássico

Tabela 4. Descrição das pontas de pulverização e abreviaturas.

Nome comercial	Abreviatura	Tipo de ponta	Ângulo e vazão nominal (gal min <sup>-1</sup> )
	XR		110 02
	AIXR		110 02

\* Fabricante – Spraying Systems

### 3.3 Avaliação do potencial de deriva

O potencial de deriva foi estimado por meio de coleta em um túnel de vento, onde uma corrente de ar incide sobre a pulverização e a calda é capturada por meio de alvos artificiais (fios de nylon) distribuídos ao longo da seção de testes. O método de coleta de dados é baseado no padrão ISO (ISO 22856: 2008: equipamento para proteção das culturas, métodos para a medição de laboratório de deriva de pulverização túneis de vento.).

O túnel de vento utilizado neste experimento (Figura 1), segue o princípio de funcionamento proposto por Moreira Junior (2009), contudo, neste modelo utilizou-se diferentes dimensões e foram realizadas adaptações, facilitando a retirada dos coletores. Optou-se por utilizar este modelo de equipamento, com circuito aberto, onde não há a recirculação de ar, como em um modelo de equipamento com o circuito fechado.

A ponta de pulverização ficou alocada dentro do túnel, em uma posição central em relação a sua largura, a 1,5 m de distância em relação à entrada de ar e a uma altura de 0,5 m em relação ao piso do equipamento. As dimensões totais do túnel de vento são de 1,0 m de largura, 0,7 m de altura, seção de testes de 5,2 m de comprimento e no total 6,3 m de comprimento (Figura 2).



Figura 1 – Túnel de vento utilizado para determinação de deriva

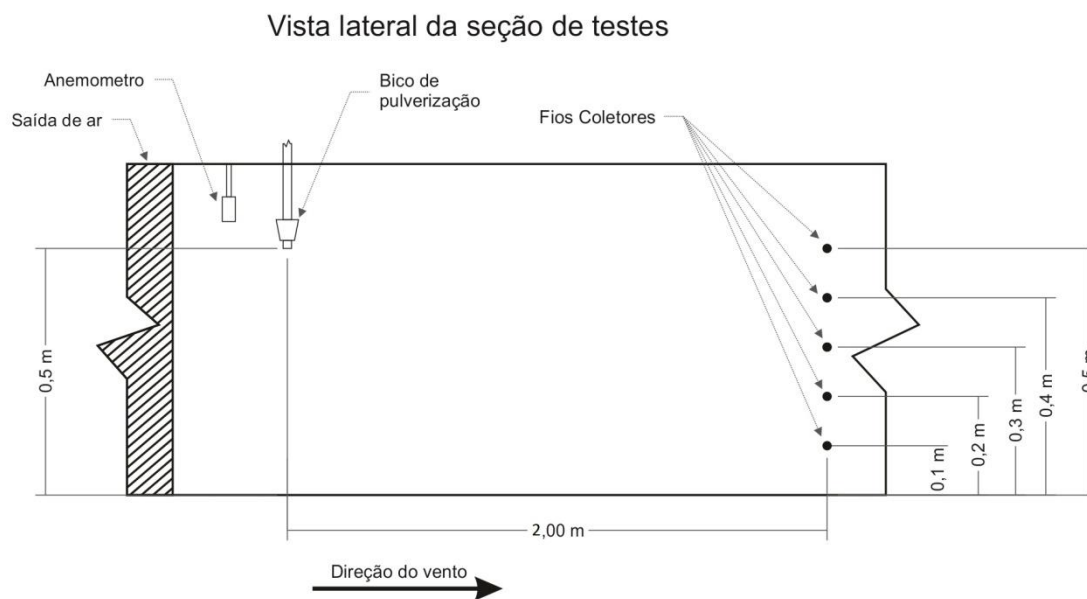


Figura 2. Esquema da seção de testes do túnel de vento com as dimensões e posicionamento de cada componente.

Foram utilizados fios de nylon de 2 mm de diâmetro como alvos artificiais para a coleta da deriva. Os fios de nylon foram posicionados nas posições horizontal e perpendicular ao sentido do deslocamento do vento, colocados em uma

estrutura em forma de gaveta, o que facilita a colocação e retirada dos fios entre cada repetição. No total foram utilizados cinco fios para cada repetição, distribuídos em uma gaveta. Em cada posição havia fios de nylon em cinco alturas 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, 0,4 e 0,5 m acima do piso do túnel (Figura 2).

O ensaio foi realizado com uma velocidade de vento de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  (ou 10km/h) que foi atingido através do ajuste da rotação do ventilador. Em todas as repetições a velocidade do vento foi monitorada em tempo real, com a utilização de um anemômetro digital tipo ventoinha (Marca Minipa, Modelo MDA 11). O anemômetro foi posicionado no interior do equipamento, entre a saída de ar e a ponta de pulverização. Monitorou-se ainda a temperatura e a umidade relativa do ar, com o uso de um termohigrômetro digital portátil (Marca Minipa, Modelo MTH 1362 W) posicionado fora do túnel de vento, próximo ao ventilador onde ocorre a entrada de ar dentro do túnel.

Para a quantificação do depósito da pulverização foi adotado a técnica e o método proposto por Palladini (2000), onde em todas as caldas foi utilizado um traçador, o corante Azul Brilhante, FCF – INS 133 (International Numbering System for Food Additives), conhecido também por sua definição norte-americana como FD&C Blue n.1 (Food, Drug & Cosmetic). No Brasil, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) identifica este corante de acordo com o Sistema Internacional de Numeração (INS). Foi utilizado neste ensaio uma dose de  $6 \text{ g L}^{-1}$ , previamente diluída em água antes da mistura na calda.

A escolha desse corante se deu pelas suas características como traçador, sendo elas: estabilidade, atoxicidade, baixo custo, e análise com baixa interferência nas características da calda, por ser realizada através de espectrofotometria (MARCHI et al., 2005).

Para a pulverização utilizou-se um sistema composto por um reservatório, com 8 litros de volume pressurizado por um cilindro de  $\text{CO}_2$ . Para regulagem da pressão de trabalho foi utilizada uma válvula reguladora de pressão na saída do cilindro de  $\text{CO}_2$  e monitorada por um manômetro instalado próximo a ponta de pulverização. A abertura e fechamento da pulverização foi realizada manualmente, utilizando uma válvula tipo esfera.

Em cada repetição a pulverização o tempo de pulverização foi de 20 segundos, sendo que ela foi realizada após o ventilador ser ligado e o fluxo de ar estabilizado dentro do túnel, e após ligado o ventilador, esperava-se 25 segundos antes de iniciar a próxima pulverização. Os fios de nylon foram coletados e armazenados para

remoção do corante. Coletou-se ainda, cerca de 250 mL de cada calda para ser utilizada como referencial nos cálculos de estimativa de corante em cada fio, por meio de curvas padrão. Foi utilizado uma quantidade de água pré-determinada para coletar a calda presente no fio de nylon, adicionando-a em um saco plástico e insuflando ar, agitando-o por 15 segundos. Os produtos dessa lavagem foram adicionados em tubos de ensaio, e imediatamente procedeu-se a leitura por espectrofotometria, em comprimento de onda de 630 nm.

A quantidade de água utilizada para lavagem dos fios variou de acordo com o tipo de ponta para pulverização. Para pontas sem indução de ar, utilizou-se 90 mL e para as pontas com indução de ar, foram utilizados 45 mL.

A partir dos dados de absorvância de cada amostra, foi calculada a concentração do corante em  $\text{mg L}^{-1}$  presente em cada amostra. Procedeu-se, então o cálculo de curvas padrão utilizando concentrações conhecidas, obtidas da diluição das amostras de caldas utilizadas em cada tratamento. As concentrações utilizadas para as curvas padrão foram 0,01456; 0,0293; 0,05859; 0,11719; 0,46875; 0,9375; 1,875; 3,75; 7,5 e  $15 \text{ mg L}^{-1}$ . 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.

$$Cc = \frac{abs-A}{B} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

$Cc$  = concentração de corante na amostra

$A$  = coeficiente linear da reta

$abs$  = absorvância da amostra

$B$  = coeficiente angular da reta

Após obtenção dos dados de concentração, calculou-se o resultado para cada amostra, da quantidade de corante coletada em cada fio. Para o cálculo, considerou-se a quantidade de água utilizada para lavar cada fio, conforme descrito na equação 2.

$$Qc = \frac{Cc.Qa}{1000} \quad \text{Eq. 2}$$



Onde:

$Qc$  = quantidade de corante presente em cada fio (mg)

$Qa$  = quantidade de água utilizada na lavagem de cada fio (mL)

Utilizando os valores de corante presente em cada fio, estimou-se o índice de deriva por fio, que é o percentual do volume de calda pulverizada retido no fio, de acordo com a equação 3. O índice de deriva total foi calculado através do somatório da deposição de todos os fios para cada repetição, conforme descreve Moreira Júnior (2009); Oliveira (2011) e Chechetto et al., (2013).

$$IDfio = Qc. 100 / \left( \frac{V.T}{60.Ql} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$IDfio$  = índice de deriva por fio (%)

$V$  = vazão da ponta de pulverização na pressão de trabalho ( $L \text{ min}^{-1}$ )

$T$  = tempo de pulverização na pressão de trabalho (s)

$Qc$  = quantidade de corante presente em cada fio (mg)

$Ql$  = Concentração de corante na calda ( $mg \text{ L}^{-1}$ )

### 3.4 Análise de espectro de gotas

Para determinação do espectro de gotas utilizou-se um analisador de partículas por imagens, modelo VisiSize Portátil (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.) (Figura 3). O equipamento possui um software (Visisize Particle Sizing) que analisa o tamanho das gotas pulverizadas em tempo real (Figura 4). O sistema analisou o espectro de gotas usando uma técnica chamada de Particle/Droplet Image Analysis ou PDIA. Esta metodologia é mesma utilizada por Carvalho (2016).

O equipamento permite por meio de sua configuração a escolha de lentes e ampliações. Durante as avaliações, a opção de lentes número 3 foi selecionada na ampliação 1. Definido as configurações, o equipamento foi capaz de mensurar gotas de 32  $\mu\text{m}$  até 3500  $\mu\text{m}$ . As imagens são capturadas de um sistema de pulverização que sai do bocal, o qual estava posicionado 50 centímetros (centrado) acima da posição

de captação da imagem e ao menos 10.000 mil gotas foram analisadas para cada uma das quatro repetições de cada tratamento. Entre um tratamento e outro, a limpeza do sistema era efetuada para evitar a contaminação do sistema de pulverização.

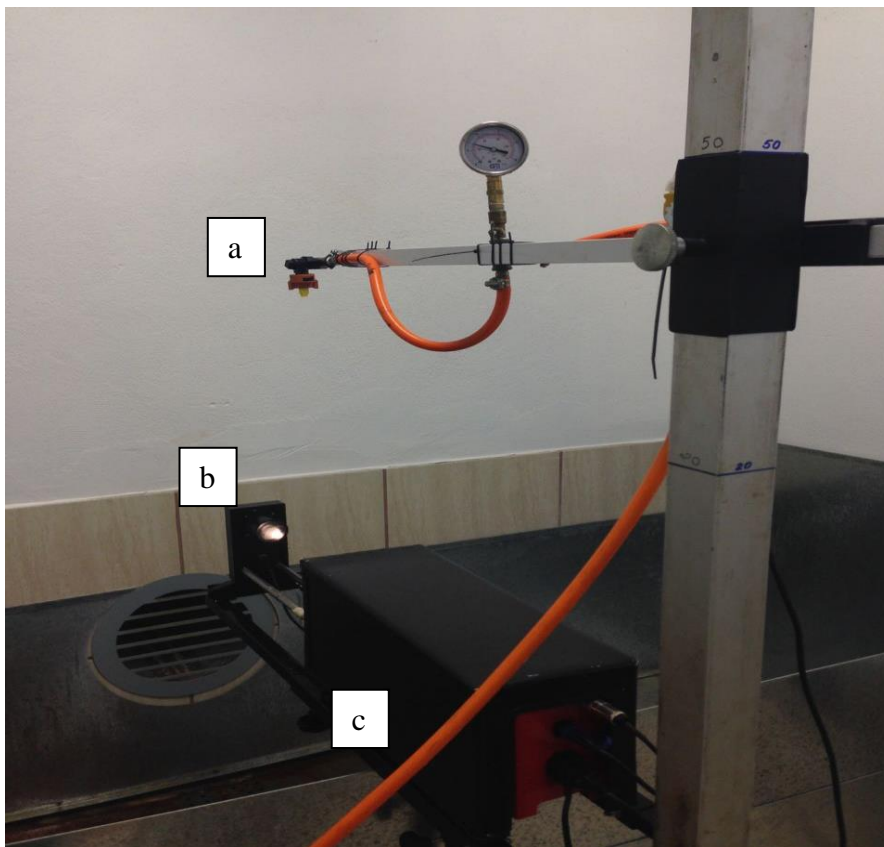


Figura 3 – Bico de pulverização (a), região de captura das imagens para análise das características do espectro de gotas (b) e analisador de partículas por imagens VisiSize Portable (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.) (c).



Figura 4. Software (Visisize Particle Sizing) analisando o tamanho das gotas pulverizadas em tempo real.

As análises realizadas foram o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a porcentagem volumétrica de gotas com diâmetros menores que  $105 \mu\text{m}$  (% volume <  $105 \mu\text{m}$ ) e a amplitude relativa (AR), que foi calculada pela equação abaixo:

$$\textit{Amplitude relativa} = \frac{DV\ 0,9 - DV\ 0,1}{DV\ 0,5} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$DV\ 0,1$  = Diâmetro de 10% do volume acumulado

$DV\ 0,5$  = Diâmetro de 50% do volume acumulado

$DV\ 0,9$  = Diâmetro de 90% do volume acumulado

### 3.5 Análises estatísticas dos dados

A comparação dos resultados obtidos foi realizada por meio do cálculo do Intervalo de Confiança à 95% de probabilidade (IC 95%).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Espectros de gotas**

#### **4.1.1 Diâmetro mediano volumétrico (DMV)**

Os resultados de diâmetro mediano volumétrico (DMV) entre as caldas com diferentes formulações de 2,4-D (DMA e ENL) aplicadas de maneira isolada para a ponta XR estão apresentados na Figura 5. Para a ponta XR o DMV variou entre um intervalo de 128  $\mu\text{m}$  a 151  $\mu\text{m}$ , onde o menor resultado foi encontrado para a calda DMA e o maior para a ENL, havendo diferenças significativas entre os tratamentos. Tendo como referência na comparação a formulação convencional (DMA), a nova formulação (ENL) aumentou o DMV em 18% em relação ao DMA. Este aumento no DMV para a calda ENL pode estar relacionado a propriedades física da nova formulação do produto que possui uma tecnologia para redução de deriva (Colex-D™).

Hilz; Vermeer (2013), afirmam ainda que os efeitos causados pelas pontas de pulverização na formação do espectro de gotas sejam maiores dos aqueles

procedentes das formulações, a conciliação destes fatores (ponta e formulação) resulta numa importante técnica para redução de deriva. Antuniassi e Baio (2008), ressaltam que o processo de formação de gota pelas pontas pode ser alterado de acordo com a característica física da calda, da qual gera mudanças de acordo com o adjuvante e/ou formulação utilizada.

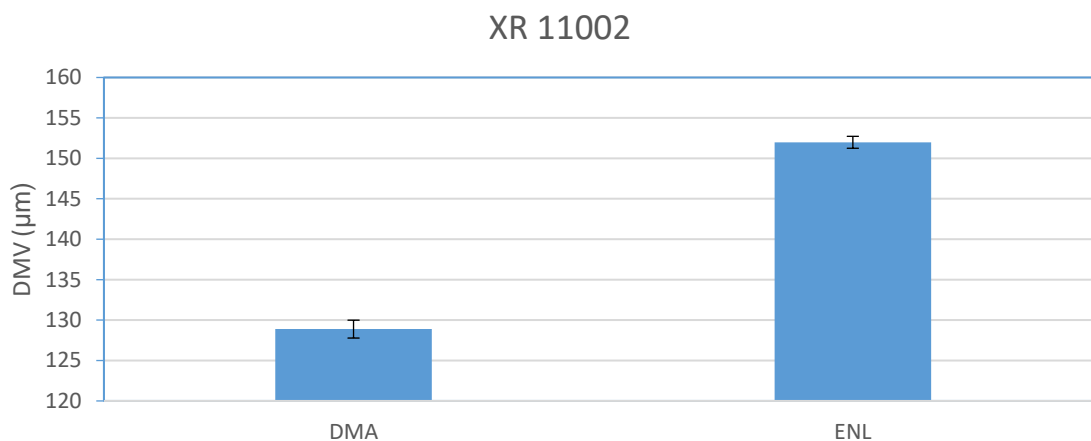


Figura 5. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações de 2,4-D (DMA e ENL). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Nos tratamentos realizados com a ponta AIXR (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**6), o DMV variou entre 266 µm e 332 µm, onde o maior resultado encontrado foi para calda contendo a formulação ENL comparado ao DMA. A variação do DMV do tratamento contendo ENL foi de 25% maior em relação ao DMA, existindo diferença significativa entre os tratamentos.

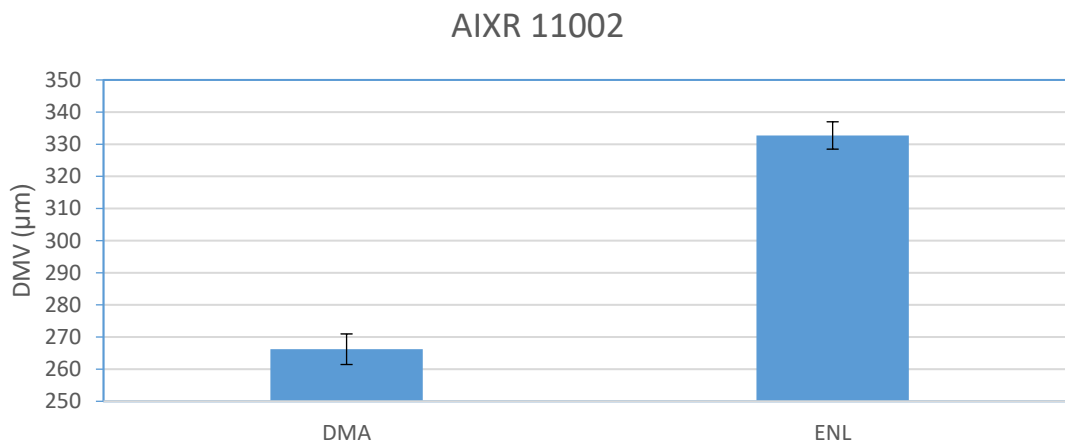


Figura 6. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com 2,4-D (DMA e ENL). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Com objetivo de avaliar o espectro de gotas e potencial de deriva de uma nova formulação de 2,4-D (ENL), Moreira et.al (2016), observaram os mesmos comportamentos tanto para as pontas com indução de ar (AIXR 11002), quanto para a ponta de jato plano (XR 11002), em relação a formulação convencional de 2,4-D (DMA). Os autores ainda concluem que a nova formulação de 2,4-D (ENL) contendo a tecnologia de redução de deriva reduziu significativamente a deriva na comparação com a formulação convencional do herbicida. Esses dados estão de acordo com os observados no presente trabalho.

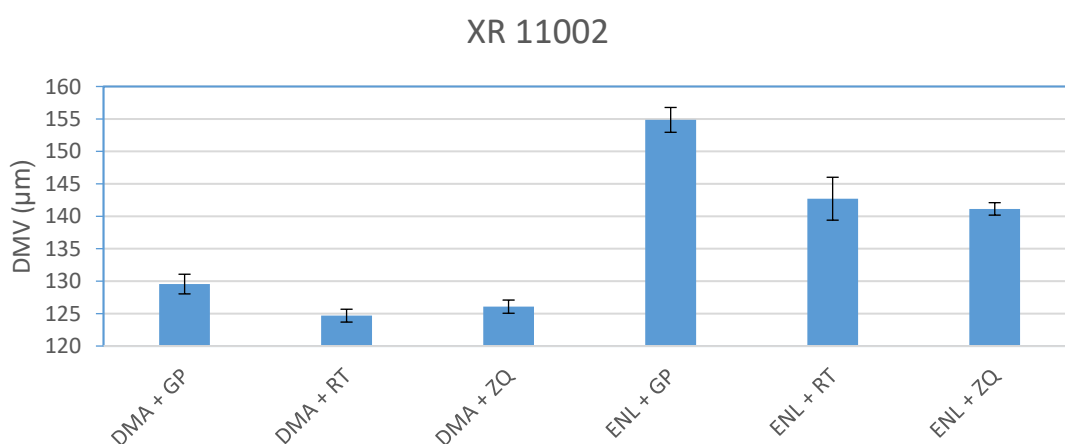


Figura 1. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na avaliação do DMV para a ponta XR (Figura 7), comparando as misturas convencionais com as novas, os menores valores encontrados foram para as misturas convencionais DMA+RT (124  $\mu\text{m}$ ), em sequência, DMA+ZQ (126  $\mu\text{m}$ ) e DMA+GP (129  $\mu\text{m}$ ), e os maiores resultados para ENL+GP (154  $\mu\text{m}$ ), ENL+RT (142  $\mu\text{m}$ ) e ENL + ZQ (141  $\mu\text{m}$ ). As novas misturas aumentaram o DMV em relação às convencionais, havendo uma variação de 12 a 20%, dependendo da mistura utilizada na comparação. O tratamento ENL+GP obteve o maior aumento com 20% em relação ao tratamento DMA+GP, seguido de ENL+RT x DMA+RT com 14% e ENL+ZQ x DMA+ZQ com 12%, havendo diferenças significativas entre as novas misturas comparadas as convencionais.

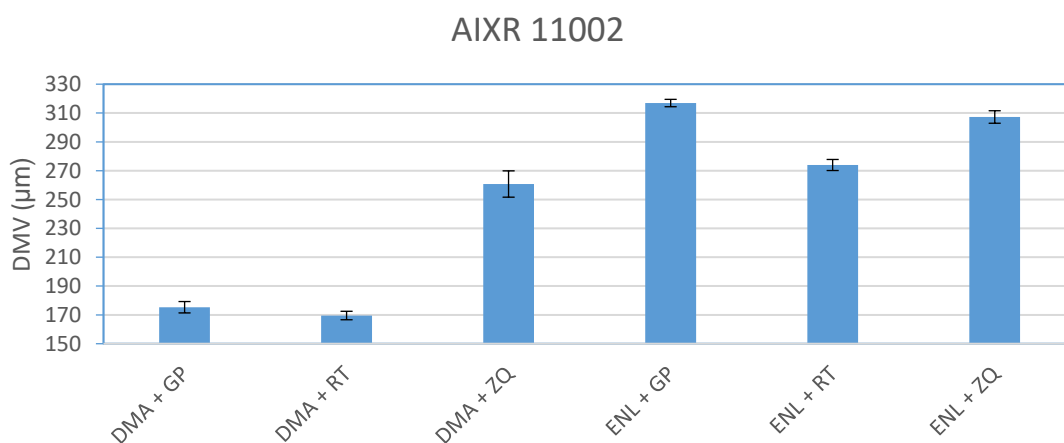


Figura 8. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Nos tratamentos realizados com a ponta AIXR (Figura 8), tendo como comparação as misturas em tanque convencionais em relação às novas, o DMV variou entre 169  $\mu\text{m}$  e 316  $\mu\text{m}$ , estabelecendo-se os menores valores para as misturas convencionais DMA+RT (169  $\mu\text{m}$ ), DMA+ GP (175  $\mu\text{m}$ ) e DMA+ZQ (260  $\mu\text{m}$ ), e os maiores para as novas misturas ENL+GP (316  $\mu\text{m}$ ), ENL+ ZQ (307  $\mu\text{m}$ ) e ENL+ RT (273  $\mu\text{m}$ ). As novas misturas aumentaram o DMV em relação às convencionais, assim como ocorreu para ponta XR. Este aumento variou entre 18% a 81%, dependendo da mistura utilizada na comparação. A nova mistura ENL+GP x DMA+GP aumentou em 81% o DMV, ENL+RT x DMA+RT em 62% e ENL+ZQ x DMA+ZQ com 18% de aumento. Tendo diferenças significativas de acordo com as comparações.

Mota (2015), com objetivo de avaliar o potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D (DMA) em combinações de mistura em tanque com os herbicidas glyphosate e diclosulam e adjuvantes aplicados com as pontas AI (11003) e XR (11003), relata que as misturas em tanque do herbicida DMA com outros produtos impactam no risco de deriva e no espectro de gotas. Segundo o autor, para a ponta XR todas as misturas resultam na redução no DMV, comparado ao DMA aplicado de forma isolada. Para a ponta AI apenas o adjuvante Aterbane em mistura com DMA foi efetivo na redução de deriva, porém não aumento DMV, comparado com a aplicação isolado de DMA. Esses resultados estão de acordo com o referente trabalho, pois tanto para a ponta XR como AIXR a formulação convencional de 2,4-D (DMA) reduziu o DMV das misturas convencionais. Porém para a nova formulação de 2,4-D (ENL) foi observado o aumento do DMV, para as pontas XR e AIXR em relação as misturas contendo DMA.

Em estudo realizado por Miller e Butler Ellis (2000), avaliando o efeito de formulações nas características da pulverização os autores afirmam que as particularidades de cada tipo de formulação é o fator mais importante na determinação das características das gotas geradas por pontas de pulverização do modelo jato plano. Os autores chegaram a conclusão de que as pontas de indução de ar possuem maior sensibilidade as mudanças físicas das caldas, seguindo um comportamento diferente em relação as pontas hidráulicas convencionais.

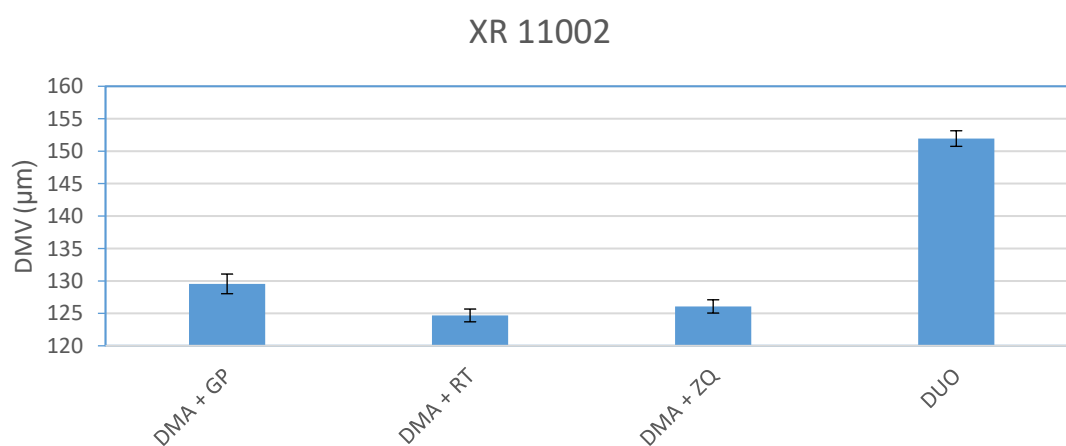


Figura 9. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta de calda contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).



Avaliando as misturas convencionais em relação à mistura pronta DUO utilizando a ponta XR (Figura 9), os tratamentos DMA+GP (129  $\mu\text{m}$ ), DMA+RT (124  $\mu\text{m}$ ) e DMA+ZQ (126  $\mu\text{m}$ ), tiveram o menor valor do DMV, quando comparados à mistura pronta DOU (151  $\mu\text{m}$ ). Na comparação entre os tratamentos, o DUO aumentou o DMV em relação às misturas convencionais. Esse aumento variou entre 17 a 22%, dependendo das misturas convencionais utilizadas nas comparações. A maior variação ocorreu entre DMA+RT x DUO (22%), seguido DMA+ZQ x DUO (21%) e DMA+GP x DUO com 17%, diferenciando o tratamento DUO dos demais.

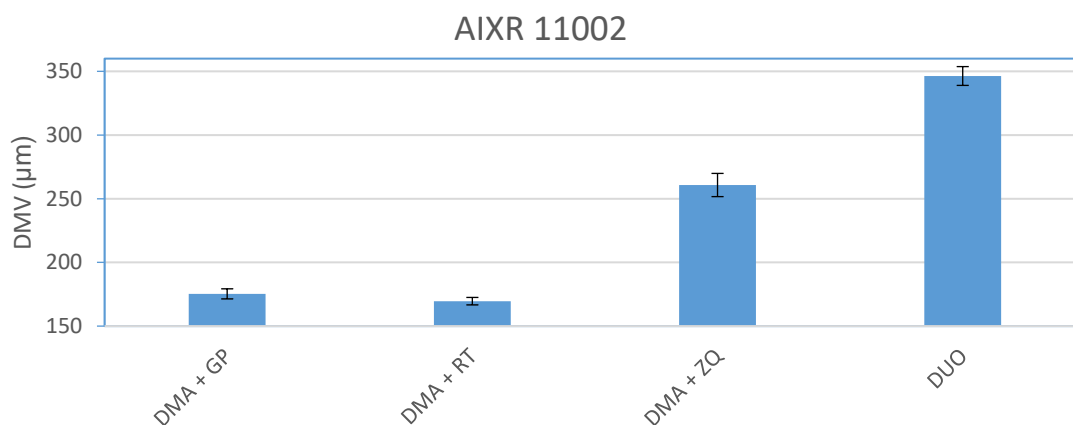


Figura 10. Diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de calda contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Para avaliação do DMV com a ponta AIXR, entre as misturas convencionais e pronta (Figura 10), os menores valores foram encontrado para DMA+RT (169  $\mu\text{m}$ ), DMA+GP (175  $\mu\text{m}$ ) e DMA+ZQ (260  $\mu\text{m}$ ) e o maior para mistura pronta DUO (346  $\mu\text{m}$ ). Na comparação entre os tratamentos, o DUO aumentou o DMV em relação às misturas convencionais. A variação do aumento do DMV foi de 33% a 104%, dependendo da mistura convencional levada em consideração. A maior variação do DMV foi encontra entre DMA+RT x DUO (104%), em sequencia DMA+GP x DUO (98%) e DMA+ZQ x DUO (33%), diferenciando estatisticamente o mistura pronta DUO das misturas convencionais, assim como ocorrido para ponta XR.

Em estudo realizado por Antuniassi et.al (2016), com objetivo de avaliar o desempenho de uma nova formulação desenvolvida para reduzir deriva, os autores compararam a mistura pronta (DUO) 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 (DUO) em relação a misturas com glyphosate contendo o produto DMA, tanto para ponta XR (110 02) quanto para ponta AIXR (100 02). Concluindo ainda que a mistura pronta contendo a tecnologia de redução de deriva reduziu significativamente a deriva na comparação com as misturas em tanque dos herbicidas convencionais. O que está de acordo com os resultados da presente pesquisa.

#### 4.1.2 Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105 $\mu\text{m}$ ( $\%<105$ )

Utilizando a ponta XR para os resultados do percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) o menor valor médio foi para a nova formulação de 2,4-D (ENL) com 17,2 % e o maior para calda DMA com 32,48 % (Figura 11). Na comparação entre o tratamento ENL em relação ao DMA, o tratamento ENL reduziu em -47% o  $\%<105$ , diferindo estatisticamente do tratamento do DMA.

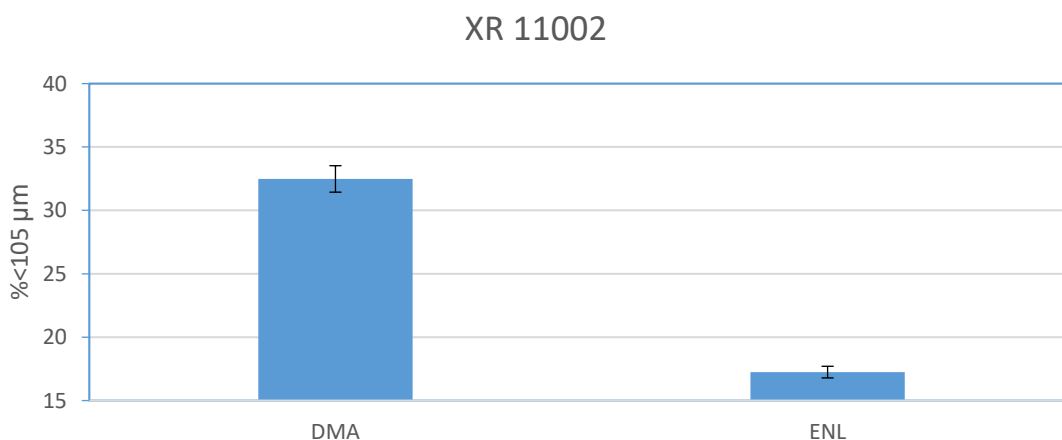


Figura 11. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na comparação das caldas aplicadas com a ponta AIXR para a avaliação do  $\%<105$  (Figura 12), o ENL se manteve com o menor resultado com 3,3%, enquanto o DMA obteve o maior resultado com 8,8%. Comparando as diferentes formulações, o ENL reduziu em 62% o  $\%<105$  em relação ao DMA, tendo diferença estatística entre os tratamentos.

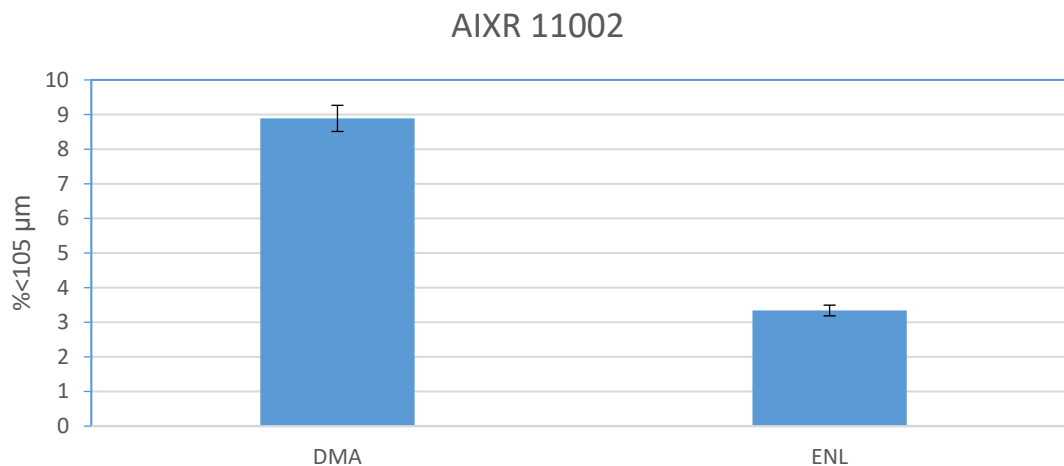


Figura 12. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Nota-se nas comparações entre as caldas contendo a nova formulação de 2,4-D (ENL) com DMA tanto para a ponta XR quanto para AIXR (Figura 11 e 12), o tratamento ENL destaca-se sempre com maior redução do  $\%<105$  diferenciando do DMA tanto para ponta XR como para AIXR, isso pode estar relacionado aos atributos presente na formulação, apesar de não serem conhecidos todos os componentes que integram sua composição.

A Figura 13 demonstra os valores do  $\%<105$  para ponta XR, entre as misturas convencionais e as novas. Os tratamentos com os maiores valores foram encontrados para as misturas convencionais DMA+RT (36,4%), DMA+ZQ (35%) e DMA+ GP (33,4%), e os menores para as novas misturas, ENL+GP (16,9%), ENL+ZQ (21,9%) e ENL+RT (22%). As novas misturas diminuíram o  $\%<105$  quando comparado as convencionais, tendo uma variação de -37 a -49%, dependendo da mistura utilizada na comparação. A maior redução foi entre o DMA+GP x ENL+GP (-49%), seguido DMA+RT x ENL+RT (-39%) e DMA+ZQ x ENL+ZQ (-37%), havendo diferenças significativas entre as novas misturas comparadas as convencionais.

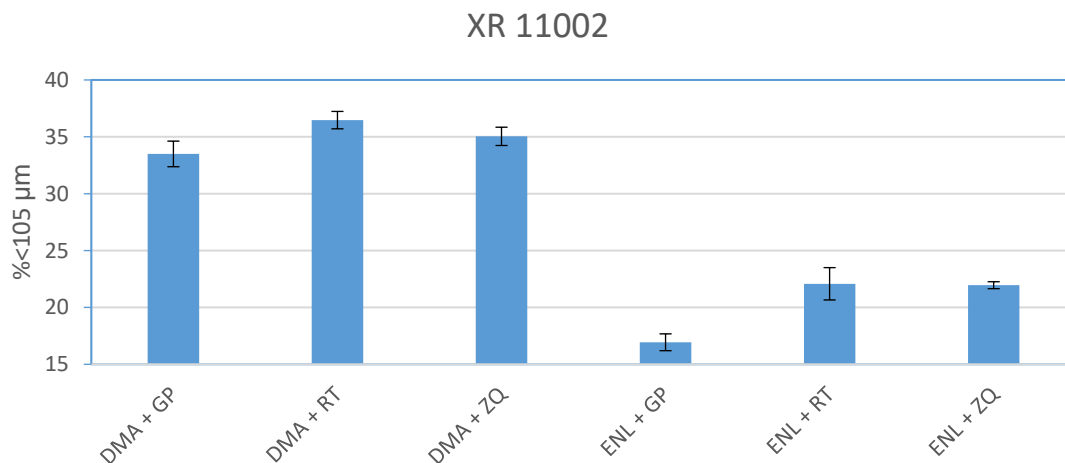


Figura 13. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na utilização da ponta AIXR (Figura 14) para os resultados do  $\%<105$  os maiores valores médio foram encontrados para as misturas convencionais DMA+GP (16,4%), DMA+RT (16,7%) e DMA+ZQ (7,09%), e os menores valores para as novas mistura ENL+GP (3%), ENL+RT (3,9%) e ENL+ZQ (3,8%). As novas misturas diminuíram o  $\%<105$  quando comparado as convencionais, assim como para a ponta XR. Essa variação foi 46 a 81%, dependendo da mistura utilizada na comparação. . O tratamento ENL+GP obteve o maior redução com 81% comparado ao DMA+GP, seguido do DMA+RT x ENL+RT (-76%) e DMA+ZQ x ENL+ZQ (-46%), tendo diferenças significativas entre as novas misturas quando comparadas as convencionais.

Segundo Cunha et al. (2003) gotas com diâmetro menores 100  $\mu\text{m}$  ( $\%<100$ ) são mais eficientes biologicamente, porém, possuem um elevado potencial de deriva podendo causar danos ao meio ambiente. Vários estudos podem ser encontrados na literatura que demonstram a forte correlação entre percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  ( $\%<100$ ) e a deriva (CHECHETTO, 2011; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012; GANDOLFO, 2014).

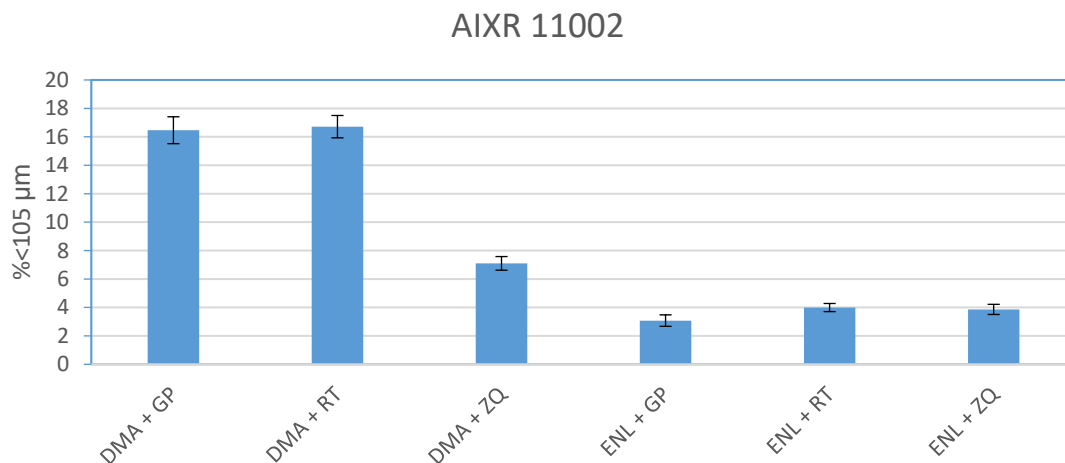


Figura 14. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Durante o processo de pulverização é importante buscar técnicas de aplicação que reduzam esse percentual visando manter a segurança da operação. Nas novas misturas de ENL com GP, RT e ZQ utilizando as pontas XR e AIXR, foi observado redução do  $\%<105$ . Deve se levar em consideração que a nova formulação de 2,4-D (ENL) é apenas um indicativo na redução do risco de deriva em relação as misturas convencionais de DMA com GP, RT e ZQ, havendo outras variáveis que interferem nesse processo.

Para comparação dos valores do  $\%<105$  para a ponta XR, entre as misturas convencionais e DUO (Figura 15), os tratamentos DMA+GP (33,5%), DMA+RT (36,4%) e DMA+ZQ(35%), mantiveram os maiores valores, comparado a mistura pronta DUO (17,1%), que obteve o menor valor. Na comparação o DUO reduziu o  $\%<105$  em relação às misturas convencionais entre 49 a 53%, dependendo dos tratamentos convencionais utilizados nas comparações. A maior redução dessa variável ocorreu entre as misturas DMA+RT x DUO (-53%), seguido de DMA+ZQ x DUO (51%) e DMA+GP x DUO (49%).

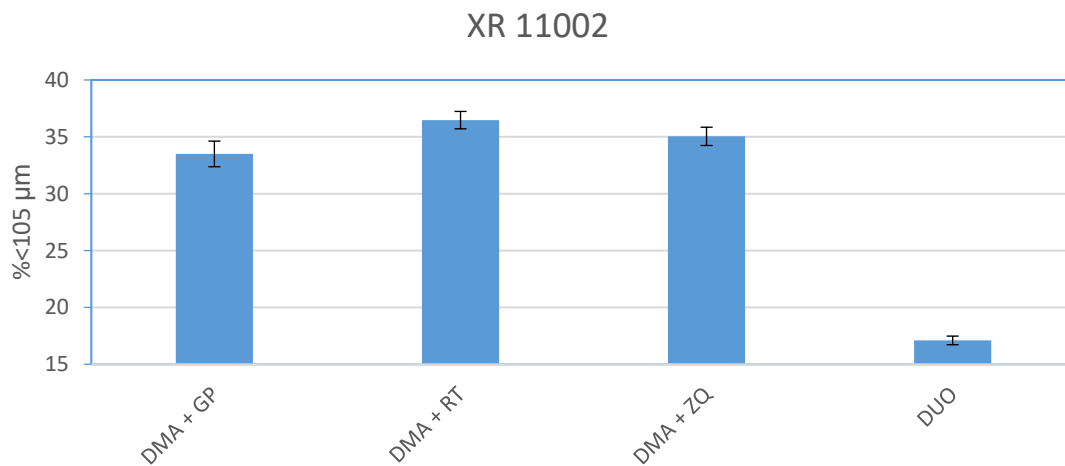


Figura 15. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Analisando os resultados da figura 16 para a ponta AIXR, observa-se que as misturas convencionais, DMA+GP (16,46%), DMA+RT (16,8%) e DMA+ZQ (7%), mantiveram-se com maior valor do  $\%<105$ , diferente da mistura pronta DUO que obteve o menor valor com 3,8%. Comparando os valores do  $\%<105$  o tratamento DUO reduziu a variável quando comparado a todas as misturas convencionais. Onde a maior redução ocorreu entre os tratamentos DMA+RT x DUO (77%), em sequência DMA+GP x DUO (76%) e DMA+ZQ x DUO (45%). Tanto para a ponta XR quanto AIXR, a mistura pronta DUO aumentou o  $\%<105$  quando comparado às misturas convencionais, tendo diferenças significativas entre as comparações.

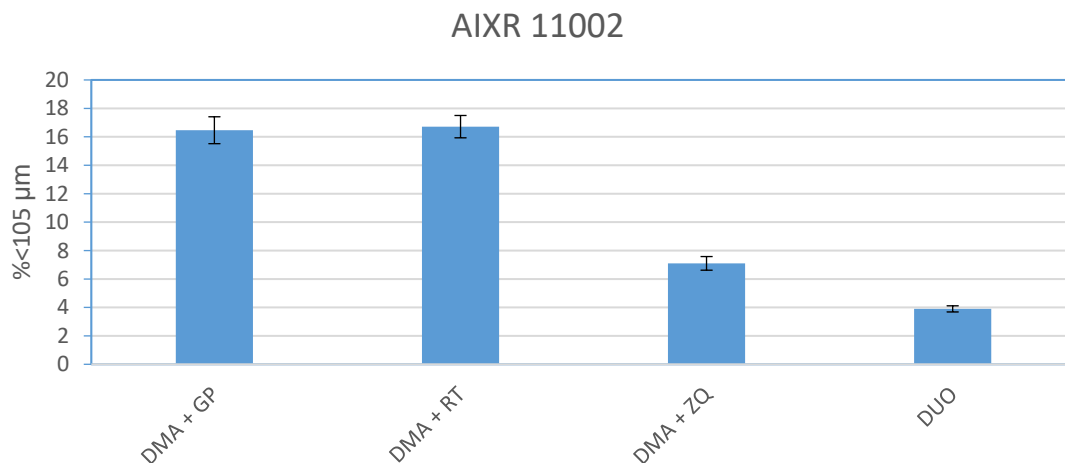


Figura 16. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 105  $\mu\text{m}$  ( $\%<105$ ) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

#### 4.2 Índice de deriva

Os valores médios do índice de deriva (ID) para ponta XR estão na figura 17, em que os valores para os tratamentos variaram entre 0,104 % (ENL) e 0,197 % (DMA). O tratamento ENL apresentou uma redução do ID de -47% em relação ao DMA, diferenciando-se estatisticamente.

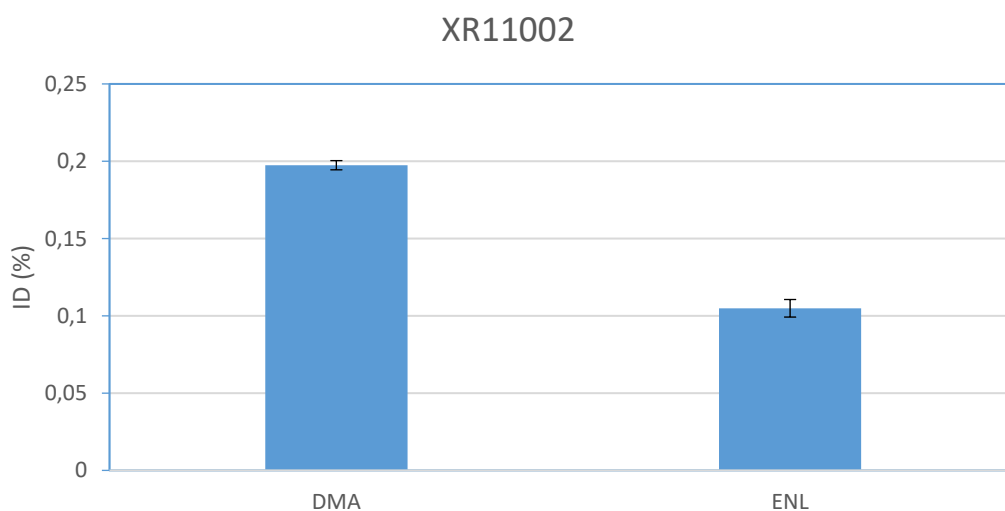


Figura 17. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na Figura 18 estão os resultados do ID para a ponta AIXR, observa-se que o valor do tratamento DMA (0,026 %), foi maior em relação ao tratamento ENL (0,018%). A redução do ID foi de -30% para ENL comparado ao DMA, havendo diferença significativa entre os tratamentos.

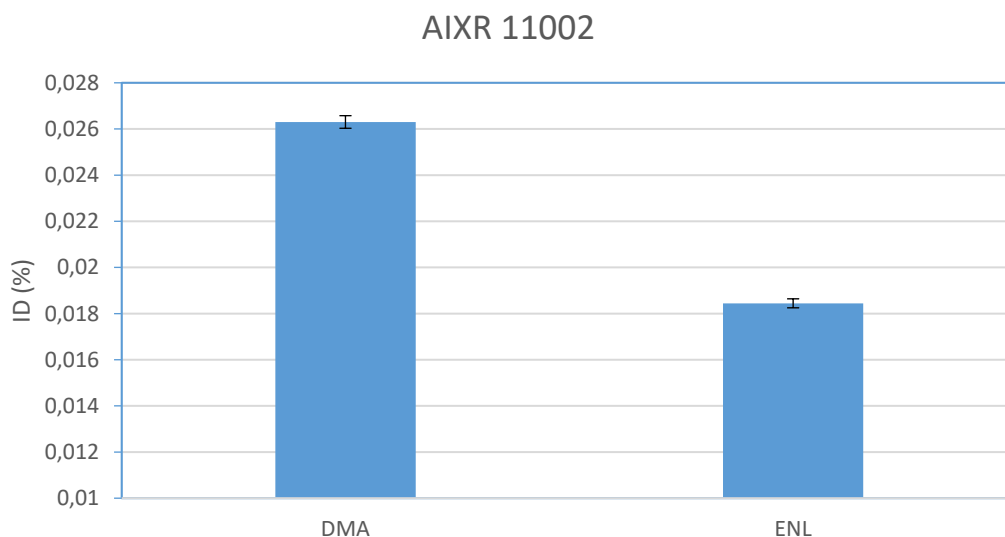


Figura 18. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Os valores médios do índice de deriva (ID) para ponta XR entre as diferentes misturas estão na Figura 19, onde os maiores valores foram encontrados para as misturas convencionais, DMA+GP (0,280%), DMA+RT (0,234%) e DMA+ZQ (0,196%), e os menores valores para as novas misturas, ENL+GP (0,098%), ENL+RT (0,140) e ENL+ZQ (0,103%). A variação do ID foi de -40 a -65% entre as novas misturas e as convencionais. A nova mistura ENL+GP reduziu em -65% o ID em relação ao tratamento DMA+GP, ENL+RT x DMA+RT em -40% e ENL+ZQ x DMA+ZQ em -47%, havendo diferença significativa entre as comparações.



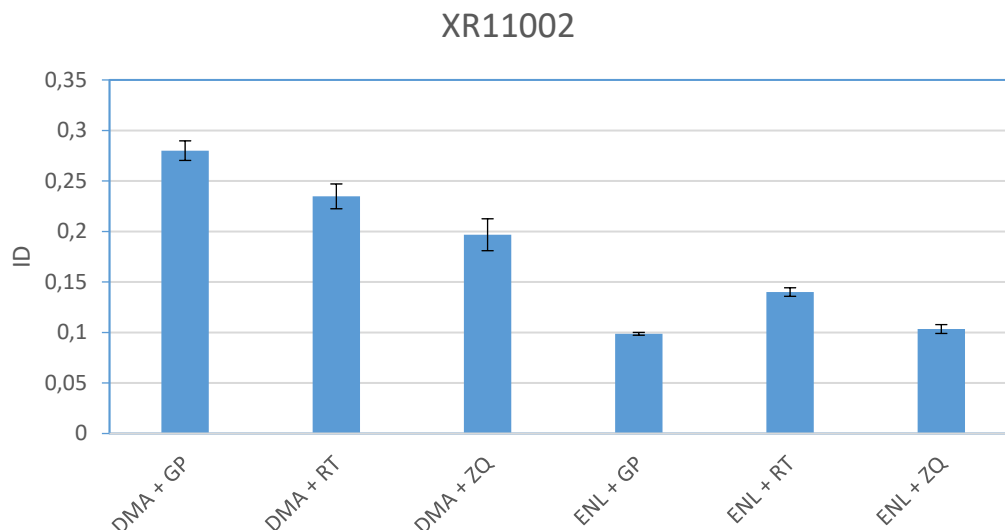


Figura 19. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Para os resultados do índice de deriva (ID) com a ponta AIXR (Figura 20), contendo diferentes misturas em tanque, os maiores valores foram encontra para as misturas convencionais DMA+GP (0,049%), DMA+RT (0,036%) e DMA+ZQ (0,031%), enquanto as novas misturas ENL+GP (0,016%), ENL+RT (0,015) e ENL+ZQ (0,016%), apresentaram os menores valores. O ID variou de -46 a -67%, sendo que as novas misturas reduziram o ID comparado as convencionais. A nova mistura ENL+GP reduziu em -67% o ID em relação ao tratamento DMA+GP, ENL+RT x DMA+RT em -58% e ENL+ZQ x DMA+ZQ em -46%, havendo diferença significativa entre as comparações.

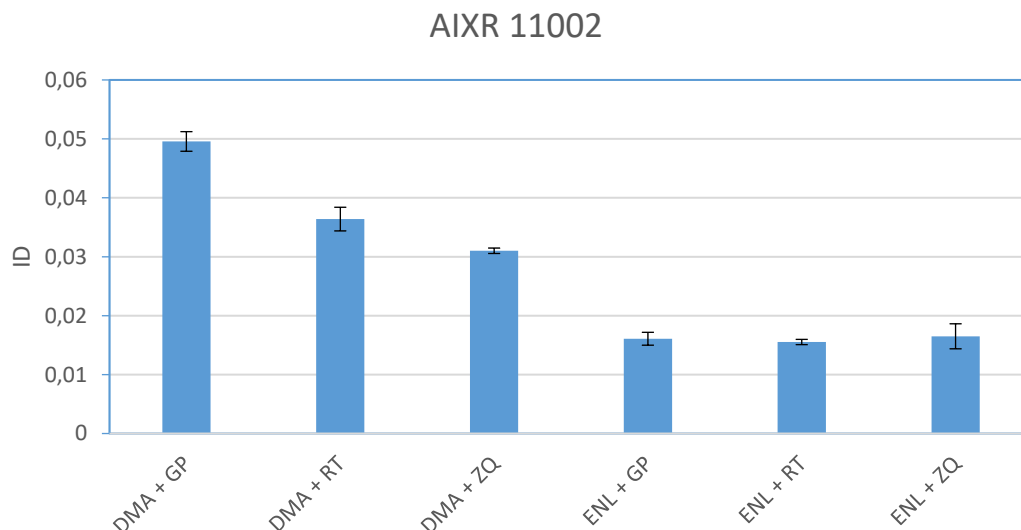


Figura 20. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes formulações do herbicida 2,4-D. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Com o objetivo de avaliar o potencial de deriva em condições controladas de túnel de vento, Mota (2015) concluiu que o risco de deriva é impactado com a mistura em tanque de 2,4-D com outros produtos. Gandolfo et al. (2012) também encontraram efeitos da mistura de 2,4-D com glyphosate em tanque, na deriva por carregamento de gotas em túnel de vento, aplicados com uma ponta jato plano convencional. Os resultados de ambos os autores contribuem com a referente pesquisa, quando comparados aos dados das misturas convencionais com 2,4-D (DMA).

Tanto para a ponta XR como para a ponta AIXR, as misturas convencionais contendo o herbicida 2,4-D (DMA) aumentaram o ID em relação as a misturas contendo a nova formulação de 2,4-D (ENL). Apesar das duas formulações de 2,4-D (DMA e ENL) serem à base de concentrado solúvel (SL) as quais geralmente possuem elevadas concentrações de surfatante (HILZ; VERMEER, 2013), esses produtos podem reduzir a tensão superficial, interferindo no processo de formação de gotas. Segundo Miller; Tuck (2014), em pontas de jato plano sem indução de ar, menores tensões superficiais reduzem o tamanho das gotas quando comparada a pulverização com água apenas. Havendo redução no tamanho das gotas conseqüentemente aumenta o risco de deriva. De acordo com Chechetto et.al (2013) e Moreira Junior (2009), a aplicação de surfactantes com pontas de pulverização de jato plano com uso estendido proporcionam o aumento da deriva comparada a caldas a base de emulsão e com água apenas. O fato

das novas misturas terem reduzido o ID mesmo sendo aplicadas com a ponta XR em relação às misturas convencionais, pode estar relacionado à nova formulação do 2,4-D ter um comportamento similar a produtos a base de emulsão, apesar de ser um concentrado solúvel.

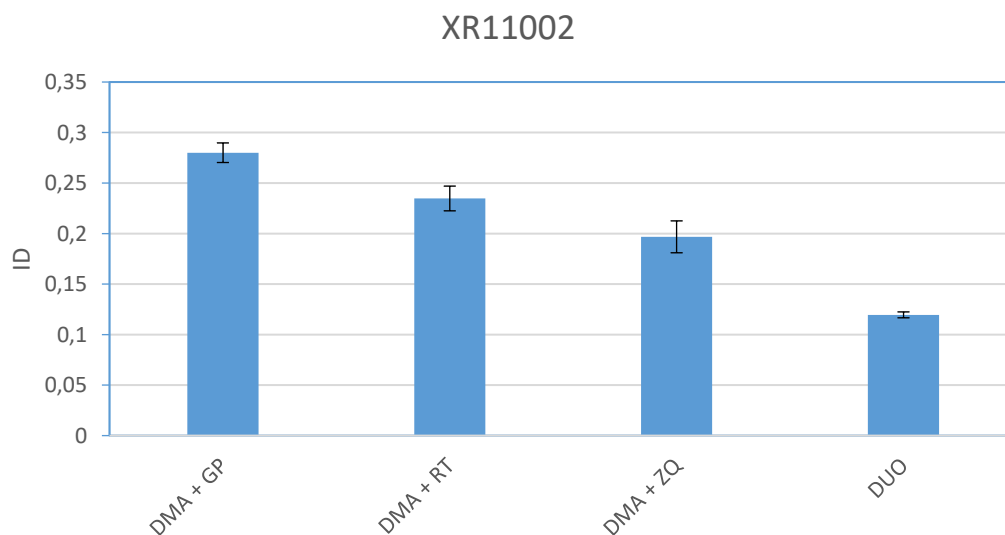


Figura 21. Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Para comparação entre a mistura pronta DUO com as misturas convencionais para a ponta XR (Figura 21), os tratamentos DMA+GP (0,280%), DMA+RT (0,234%) e DMA+ZQ (0,196%), mantiveram os maiores valores na avaliação do ID, em relação a mistura pronta DUO (0,119%), que obteve o menor valor. Na comparação entre os tratamentos, o DUO reduziu o ID em relação às misturas convencionas. Essa redução variou de 39 a 57%, dependendo das misturas convencionais utilizados nas comparações. A maior redução ocorreu entre as misturas DMA+GP x DUO (57%), seguido DMA+RT x DUO (49%) e DMA+ZQ x DUO (39%), diferenciando o tratamento DUO dos demais.

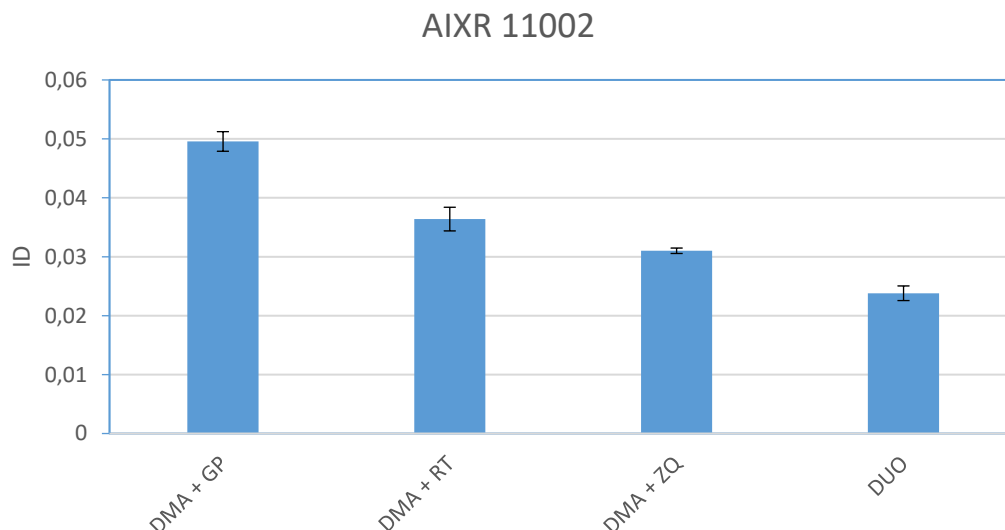


Figura 22. Índice de deriva (ID) para a ponta AIXR 11002 com diferentes mistura em tanque e uma mistura pronta (DUO) de caldas contendo os herbicidas 2,4-D e Glyphosate. As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na avaliação do ID para a ponta AIXR (Figura), comparando a mistura pronta DUO com as convencionais, os maiores valores foram encontrados para os tratamentos DMA+GP (0,0495%), DMA+RT (0,0363%) e DMA+GP (0,0310%), e o menor para o tratamento DUO (0,0238). Na comparação entre os tratamentos, o DUO manteve a redução ID em relação às misturas convencionais, assim como ocorrido para a ponta XR. Essa redução foi de 23 a 52%, dependendo das misturas convencionais utilizadas nas comparações. A maior redução estabeleceu-se entre DMA+GP x DUO (52%), seguido DMA+RT x DUO (35%) e DMA+ZQ x DUO (23%), diferenciando o tratamento DUO dos convencionais.

Na avaliação do ID para ponta XR e AIXR, nota-se que a mistura pronta (DUO) mantém padrões similares de redução já observada tanto para o tratamento ENL aplicado de forma isolada, como para as novas misturas, quando comparados aos tratamentos contendo DMA isolado ou me misturas com glyphosate. Este comportamento demonstra que a nova formulação do 2,4 D contendo a tecnologia para redução de deriva mantém sua característica de reduzir deriva, podendo ser utilizada de diversas maneiras.

## 5. CONCLUSÕES

A nova formulação de 2,4-D sal colina (ENL) com a tecnologia para redução de deriva, aplicada de maneira isolada ou em mistura com glyphosate ( sal potássico e sal dimetilamina), reduz o risco de deriva, comparada a formulação convencional de 2,4-D sal dimetilamina aplicada de forma isolada e em mistura com glyphosate.

A mistura pronta de 2,4-D sal colina + Glyphosate sal dimetilamina (DUO) com a tecnologia para redução de deriva, também reduz o risco de deriva quando comparada a misturas em tanque convencionais contendo 2,4-D sal dimetilamina com glyphosate.

Para as pontas XR e AIXR, a mistura pronta (DUO), a nova formulação de 2,4-D (ENL) aplicada de forma isolada e/ou em mistura de tanque com glyphosate, resultou no aumento do DMV, na redução do %<105 e ID.

As novas formulações ENL e DUO aplicado de maneira isolada ou em misturas com glyphosate e conciliado a ponta de pulverização AIXR 11002 (280kPa), demonstram-se como uma Técnica de Redução de Deriva.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNIASSI, U. R., et al. Espectro de gotas e potencia de deriva de mistura pronta de herbicidas. XXX Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. **Anais...** Curitiba, p. 785, 2016.

ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**, Rondonópolis, n.13, p. 299-315, 2009.

ANTUNIASSI, U. R. 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. Tecnologia de aplicação para a cultura do algodão. In: BELOT, J.-L. (Ed.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 1 ed. Cuiabá: IMAmt e Ampa, 2013. p 100-107.

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.

ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest management science**, v. 67, n. 5, p. 586–98, 2011.

AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. DAS C. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. 1. ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. p. 47

BALAN, M. G. et al. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina v. 29, n. 2, p. 293–298, 2008.

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 1, 1997.

CARVALHO, F. K. et al. Aplicação planejada. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 112, p. 24–26, 2011.

CARVALHO, F. K. Influência de adjuvantes de calda no depósito e deriva em aplicações aéreas e terrestres. 72 f., 2013. **Dissertação** (Mestrado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2013.

CARVALHO, F. K. Viscosidade, tensão superficial e tamanho de gotas em caldas com formulações de inseticida e fungicida. **Tese** (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2016.

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

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A.A.B.; CARVALHO, F.K.; SILVA, A.C.A.; VILELA, C.M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2013.

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

CONSTANTIN, J. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. n. esp., p. 24–29, 2007.

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.; ANTUNIASSI, 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 glyphosate + 2,4-D em condições de campo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 11, n. 1, 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.**, v. 39, n. 19, p. 977-985, 2004.

CUNHA, J.P.A.R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p. 325-332, 2003.

DERKSEN, R. C. et al. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. **Transactions of ASAE (USA)**, St Joseph, v. 42, n. 6, p. 1573–1580, 1999.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet, Cieszynski**, v. 67, n. 2, p.19-25, 2002.

DURIGAN, J. C.; CORREIA, N. B.. Efeitos de adjuvantes na aplicação e eficácia de herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S.. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008.** p. 133-171.



- FAGGION, F. Estimativa da velocidade das gotas através das forças de impacto. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologica**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 163–170, 2008.
- FRANZ, J. E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 3-17.
- GALLI, A. J. B. A molécula glyphosate e a agricultura brasileira. In: VELINI, E. D. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 17.
- GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. São Paulo: **Acadcom**, 2005. 66 p.
- 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 Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2014.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. Herbicide alternatives for 2,4-D in no-till cropping systems. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3, 2000, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Corvallis: Weed Science Society, 2000. p. 134.
- GRAVENA, R. Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glifosato. 2006. 144p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006
- GROVER, R.; MAYBANK, J.; YOSHIDA, K. Droplet and vapor drift from butyl ester and dimethylamine salt of 2, 4-D. **Weed Science**, Lawrence, p. 320-324, 1972.
- HALTER, S. História do herbicida agrícola glyphosate. In: VELINI, E. D.; MESCHÉDE, D. K.; CARBONARI, C. A; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF.2009. p.11-16.
- HEAP, I.A. **Criteria for confirmation of the herbicide-resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/in.asp>. Acesso em: 25/06/2016.

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.

IKEDA, F. S. Resistência de plantas daninhas resistentes ao glifosato em soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.34, n.276, p.0-00, set./out. 2013

INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS (Pesquisa internacional de Ervas Daninhas Resistentes a Herbicidas) 2012.

ISAAA. International Service Acquisition for the Agri-Biotech Applications. **20th Anniversary of the Global Commercialization of Biotech Crops (1996 to 2015) and Biotech Crop Highlights in 2015.**

LEITÃO et al. Cultivo de soja transgênica no estado de Mato Grosso: fatores propulsores e limitativos. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 57, n. 1, p. 61-74, jan./jun. 2010.

MACIEL, C.D.G. et al. Seletividade de cultivares de soja RR submetidos a misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl associadas a óleo mineral e inseticidas. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.755-768. 2009

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.

MASIÁ, G.; CID, R. Las boquillas de pulverización. In: MAGDALENA, J. C. et al. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Rio Negro: CYTED, 2010. p. 77-88.

MATTHEWS, G. A. Developments in application technology. **The Environmentalist**, New York, v. 28, n. July 2007, p. 19–24, 2008

MATTHEWS, G. A. **Application of pesticides to crops**. London: Imperial College Press, 2000. 325 p

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. Formulation of pesticides. In: **Pesticide application methods**. 4ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. p. 63–89.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de produtos fitossanitários**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

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

MILLER, P. C. H. Reducing the risk of drift from boom sprayers. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004. p. 110-124.

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.

MOREIRA, C.A.F, et al. Espectro de gotas e potencia de deriva de uma nova formulação de 2,4-D. XXX Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. **Anais...** Curitiba, p. 786, 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.; ANTUNIASSI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 1–5, 2013

MOTA, A. A. B. Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D amina em misturas em tanque. 69 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2015.

OLIVEIRA Jr, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba,PR: Ed. Ompipax, 2011. 348.

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.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, p. 138–149, 2012.

OZKAN, H. E. Effects of major variables on drift distances of spray droplets. *Food, Agricultural and Biological Engineering*. **AEX 525-98**, 1998

PALLADINI, L. A. Metodologia para a avaliação da deposição em pulverizações. 2000. 110 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PROCÓPIO, S. O. et al. Utilização do herbicida 2,4-d na dessecação de manejo em lavoura de soja no sistema de plantio direto. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 21, n. 3, p. 187-193, jul./set., 2009.

QUINN, J.P. Interactions of the herbicides glyphosate and glufosinate (phosphinothricin) with the soil microflora. In: ALTMAN, J. **Pesticides interactions in crop production**. Beneficial and deleterious effects. Boca Raton: CTC Press, 1993. p. 245-265.

REIS, T. C. et al. Efeitos de fitotoxicidade na soja RR tratada com formulações e dosagens de glifosato. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 10. n 1. 2010.

RAETANO, C. G.; Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Aldeia Norte, Botucatu-SP, 2011. p. 15-26.

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.

SIDAHMED, M. M. Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.3, p.531-536, 1998

SINDIVEG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal.  
**Estatísticas de vendas de defensivos agrícolas.** 2016

SOSNOSKIE, L. M.; CULPEPPER, A. S.; BRAXTON, L. B.; RICHBURG, J. S.  
Evaluating the volatility of three formulations of 2,4-d when applied in the field.  
**Weed Technology**, Champaign, v.29, n. 2, p. 177-184, 2015.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida  
2,4-D amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas  
infestantes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 78–85, 2012.

THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. **Herbicide  
Resistant Weeds by Country and Site of Action**. Disponível em: <  
<http://www.weedscience.com/Summary/CountrySummary.aspx>> Acesso em: 06 mai.  
2016.

VARGAS, L. et al. Histórico, custo e o desafio do manejo no futuro. In: RESTAINO, E.  
**Viabilidad del glyphosate em sistemas productivos sustentables**. Estanzuela en  
Colonia: INIA, 2013. p. 99-110. (Série Técnica, 204)

VELINI, E. D. et al. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**.  
Botucatu: FEPAF, 2009a. 496 p.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A. Resistência de amendoim-bravo aos herbicidas  
inibidores da enzima acetolactato sintase. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 367-  
373, 1999.

YAMASHIDA, O. M.; GUIMARÃES, S.C. Resistência de plantas daninhas ao  
herbicida glyphosate. **Revista Varia Scientia Agrárias**. v. 03, n. 01, p.189-215. 2013.

WEED SCIENCE. **Glycines (g/9) resistant weeds by species and country**. Acesso  
em:[http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=12&FmHR  
ACGroup=Go](http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=12&FmHRACGroup=Go). 2006.

WEED SCIENCE. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em:  
<http://www.weedscience.org/in.asp>. Acesso em 25/06/2016.