



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ  
UENP - *CAMPUS* LUIZ MENEGHEL  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM AGRONOMIA

ANTONIO AUGUSTO CORRÊA TAVARES

**INFLUÊNCIA DE FATORES OPERACIONAIS NAS PERDAS DAS APLICAÇÕES  
DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**

BANDEIRANTES – PR

ABRIL/2021

ANTONIO AUGUSTO CORRÊA TAVARES

**INFLUÊNCIA DE FATORES OPERACIONAIS NAS PERDAS DAS APLICAÇÕES  
DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

BANDEIRANTES – PR

ABRIL / 2021

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

TA635i Tavares, Antonio Augusto Correa  
INFLUÊNCIA DE FATORES OPERACIONAIS NAS PERDAS DAS  
APLICAÇÕES DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA +  
GLYPHOSATE / Antonio Augusto Correa Tavares;  
orientador Rone Batista de Oliveira; co-orientador  
Greg Robert Kruger - Bandeirantes, 2021.  
74 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -  
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de

**ANTONIO AUGUSTO CORRÊA TAVARES**

**INFLUÊNCIA DE FATORES OPERACIONAIS NAS PERDAS DAS APLICAÇÕES  
DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel. Conferido pela Banca Examinadora composta por:

Aprovado em 30/04/2021

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira – UENP – CLM

Dra. Ana Carolina Souto – UENP – CLM

Dr. Greg Robert Kruger – BASF - EUA

*Rone Batista de Oliveira*

---

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira  
Orientador  
Univerisade Estadual do Norte do Paraná  
Campus Luiz Meneghel

Bandeirantes, 30 de Abril de 2021.

“It is hard to fail, but it is worse never to have  
tried to succeed.”

Theodore Roosevelt

TAVARES, A.A.C. **INFLUÊNCIA DE FATORES OPERACIONAIS NAS PERDAS DAS APLICAÇÕES DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná), Bandeirantes, 2020.

## RESUMO

O uso de herbicidas como glifosato e auxinas sintéticas em misturas em tanque é uma alternativa viável e eficaz nas práticas de manejo de plantas daninhas. No entanto, técnicas de redução de deriva são necessárias para evitar danos em culturas suscetíveis e áreas de preservação próximas a aplicações destes herbicidas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência de fatores operacionais e da direção do vento no potencial de deriva das aplicações da mistura em tanque de dicamba + glifosato. Para isso foram realizados dois distintos experimentos. No primeiro experimento determinou-se a deriva coletada e os danos em plantas de soja causado pela aplicação da mistura de herbicidas com diferentes modelos de ponta de pulverização em diferentes pressões e alturas de barra. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2x4 (pontas x pressão de trabalho x altura da barra) com quatro repetições. A calda correspondeu a uma mistura em tanque de dicamba ( $480 \text{ ia ha}^{-1}$ ) e glifosato ( $1440 \text{ g ae ha}^{-1}$ ) preparada para simular uma taxa de aplicação de  $130 \text{ L ha}^{-1}$ . Para a deriva coletada, adicionou-se a calda de pulverização um marcador, o corante azul brilhante à  $6\% \text{ v v}^{-1}$ . As aplicações foram realizadas usando as pontas AIXR11003, MUG11003 e TTI11003 à 400 e 700 kPa em um túnel de vento (Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil). O túnel de vento tem 20 m de comprimento, seção quadrada de 2,0 m e ventilador axial duplo de 0,90 m de diâmetro. As alturas de barra utilizadas foram de 0,50, 0,75, 1,00 e 1,50 m acima do piso do túnel. A velocidade no ar foi de  $3,0 \text{ m s}^{-1}$  medida e monitorada por um anemômetro de fio quente. Para as plantas como indicadores de deriva, utilizou-se plantas de soja no estágio V3, as quais foram posicionadas a cinco distâncias a favor do vento (2, 5, 8, 10, 15 m) da ponta durante as aplicações, com cada repetição pulverizada por 30 segundos, com a ventilação ligada por mais 2 minutos. Para o ensaio de deriva coletada, posicionou-se fios de nylons em suportes metálicos na altura de 0,3 m do piso do túnel. Os suportes foram posicionados na mesma distância utilizada no ensaio com plantas. Cada repetição consistiu na pulverização da calda durante 2 minutos. As condições climáticas durante os testes foram temperatura de  $23,4 \pm 1,7^\circ\text{C}$  e  $51,3 \pm 5,0\%$  de umidade relativa. Após

as aplicações, as plantas de soja foram mantidas em casa de vegetação e avaliadas para estimativas visuais de dano aos 28 dias após a aplicação (DAA). Para os fios de nylon, a calda depositada em cada fio foi removida por meio de lavagem com água destilada e solução resultante foi lida através do método de espectrofotometria. No segundo experimento, realizou-se análise de espectro de gotas, utilizando um analisador de partículas (Sympatec GmbH, ClausthalZellerfeld, Alemanha) com lente R7 (faixa de 18 a 3.500  $\mu\text{m}$  de diâmetro). Foram comparados os espectros de gotas das pontas MUG11003, TTI11003 e AIXR11003 nas pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa . Foram determinados o DV50, a amplitude relativa (RS) e a porcentagem de gotas menores que 200  $\mu\text{m}$  (gotas deriváveis). Os dados obtidos indicam que o aumento da altura da barra resulta em um aumento da deriva e do dano em plantas para todas as distâncias em estudo, também, os resultados para os diferentes modelos de pontas. Os maiores danos em plantas foram observados quando estas estavam mais próximas da ponta. Para a análise de espectros de gotas, observou-se a redução nos valores de DV0,5 e o aumento na porcentagem de gotas deriváveis quando a pressão de trabalho é aumentada.

**Palavras-chave:** Contaminação ambiental, altura de barra de pulverização, direção do vento, perdas na aplicação, arquitetura de pontas de pulverização.

## ABSTRACT

The use of herbicides such as glyphosate and synthetic auxins in tank mixtures is a viable and effective alternative in weed management practices. However, drift reduction techniques are necessary to avoid damage to susceptible crops and preservation areas close to applications of these herbicides. The objective of this research was to evaluate the influence of operational factors and wind direction on the drift potential of the dicamba + glyphosate tank mixture applications. For this, two different experiments were carried out. In the first experiment, the collected drift and the damage to soybean plants caused by the herbicides tank-mix application with different spray nozzles at different pressures and boom heights were determined. The treatments were arranged in a completely randomized design in a 3x2x4 factorial (nozzle x operational pressure x boom height) with four replications. The spray solution used was a tank mixture of dicamba (480 ai ha<sup>-1</sup>) and glyphosate (1440 g ae ha<sup>-1</sup>) prepared to simulate a carrier volume of 130 L ha<sup>-1</sup>. For the drift analysis test collected, was added to the spray solution, the bright blue dye at 6% v v<sup>-1</sup> as tracer. The applications were carried out using the AIXR11003, MUG1103 and TTI11003 nozzles at 400 and 700 kPa in a wind tunnel (Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brazil). The wind tunnel is 20 m long, with a 2.0 m square section with a 0.90 m diameter double axial fan. The boom heights used were 0.50, 0.75, 1.00 and 1.50 m above the tunnel floor. The airspeed was 3.0 m s<sup>-1</sup> measured and monitored by a hot wire anemometer. For tests using plants as drift indicators, soybean plants in stage V3 were positioned at five distances downwind (2, 5, 8, 10, 15 m) from the nozzles during applications. Each repetition was sprayed for 30 seconds, with the ventilation on for another 2 minutes. For the collected drift test, nylon strings were positioned on metallic supports at a height of 0.3 m from the tunnel floor. The supports were positioned at the same distance used in the plant test. Each repetition consisted of spraying for 2 minutes. The climatic conditions during the tests were temperature of 23.4 ± 1.7°C and 51.3 ± 5.0% of relative humidity. After the applications, the soybean plants were kept in a greenhouse and evaluated for visual damage estimates at 28 days after application (DAA). For nylon strings, the spray solutions deposited on each strings was extracted by washing with distilled water and the resulting solution was read through the spectrophotometry method. The analysis of the droplet spectra was made using a particle analyzer (Sympatec GmbH, ClausthalZellerfeld, Germany) with R7 lens (range from 18 to 3,500 µm in diameter). The droplets spectra of the nozzles MUG11003, TTI11003 and AIXR11003 at pressures of 137, 275, 414, 552, 689 and 827 kPa were compared. The DV50, the relative span (RS) and the percentage of droplets smaller than 200 µm (drifttable fines) have

been reported. The data obtained indicate that the increase in the boom height results in an increase in drift and damage to plants for all distances, as well as the results for the different nozzle models. The greatest damage to plants was observed when they were closer to the tip. For the analysis of droplet spectra, it was observed a reduction in the values of DV0.5 and an increase in the percentage of derivable droplets when the working pressure is increased.

**Keywords:** Environmental contamination, boom height, wind direction, losses in application, architecture of the nozzles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do túnel de vento e sistema de difração de laser utilizado para a análise de espectro de gotas da University of Nebraska-Lincoln. Fonte: Butts et al., 2019. ....	19
Figura 2. Sistema utilizado para a análise de espectro de gotas das técnicas de aplicação estudadas.....	19
Figura 3. Sistema de transmissão motor-polia para o ventilador na geração de vento. ....	22
Figura 4. Sistema mecânico de fechamento e abertura de entrada de ar para o ventilador. ....	22
Figura 5. A) Disposição dos suportes e fixação dos fios de polietileno em diferentes alturas verticais. B) Recipiente de armazenamento e lavagem dos coletores, devidamente identificados. ....	23
Figura 6. Disposição das plantas de soja dentro do túnel de vento durante as aplicações. ....	24
Figura 7. Posicionamento das plantas dentro do túnel de vento.....	25
Figura 8. DV <sub>0,1</sub> , DV <sub>0,5</sub> e DV <sub>0,9</sub> das pulverizações de água e dicamba + glyphosate realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003 e TTI11003 nas pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa. ....	29
Figura 9. Amplitude relativa, porcentagem de volume de gotas menores que 100 e 200 µm das pulverizações de água e dicamba + glyphosate realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003 e TTI11003 nas pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa. ....	30
Figura 10. Distribuição da deriva coletada ao decorrer do túnel de vento com base na altura de barra e distância entre os fios de nylon e a ponta de pulverização para cada combinação de ponta de pulverização*pressão. Os mapas gerados representam a uma regressão múltipla igual a $y = AX + BY + C$ .....	34
Figura 11. Distribuição da injúria visual ao decorrer do túnel de vento com base na altura de barra e distância entre as plantas e a ponta de pulverização para cada combinação de ponta de pulverização*pressão. Os mapas gerados representam a uma regressão múltipla igual a $y = AX + BY + C$ . ....	37

Figura 12. Representação da posição do jato de pulverização em relação a direção do vento no interior do túnel de vento.....	46
Figura 13. Sistema de transmissão motor-polia para o ventilador na geração de vento. ....	48
Figura 14. Sistema mecânico de fechamento e abertura de entrada de ar para o ventilador. ...	48
Figura 15. A) Disposição dos suportes e fixação dos fios de polietileno em diferentes alturas verticais. B) Recipiente de armazenamento e lavagem dos coletores, devidamente identificados. ....	49
Figura 16. Disposição das plantas de soja dentro do túnel de vento durante as aplicações. ....	50
Figura 17. Posicionamento das plantas dentro do túnel de vento.....	51
Figura 18. Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta AIXR11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC <sub>95%</sub> ). ....	52
Figura 19. Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta AIXR11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC <sub>95%</sub> ). ....	53
Figura 20. Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta MUG11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC <sub>95%</sub> ). ....	54
Figura 21. Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta MUG11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC <sub>95%</sub> ). ....	55
Figura 22. Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta TTI11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes em diferentes posições da ponta em	

relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>). .....56

Figura 23. Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta TTI11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>). .....56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos com seus respectivos fatores utilizados para a análise de espectro de gotas.....	18
Tabela 2. Tratamentos e seus respectivos fatores utilizados nos ensaios de deriva em túnel de vento (fios de polietileno e plantas).....	21
Tabela 3. Espectro de gotas gerado pelas pontas de referência segundo a norma ASABE 572.3 (ASABE, 2020). North Platte, NE, EUA. ....	27
Tabela 4. Parâmetros dos modelos quadráticos $y=a+bx+cx^2$ (Gauss-newton) ajustados para os valores das variáveis $DV_{0,1}$ , $DV_{0,5}$ , $DV_{0,9}$ , AR, V200 e V100 obtidos pela pulverização realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003, TTI11003 das soluções Dicamba + glyphosate e água em função das pressões de trabalho estudadas. North Platte, NE, EUA. ...	31
Tabela 5. Parâmetros ajustados para as equações de regressão espacial múltipla dos valores de deriva coleta na altura vertical de 0,3 m após aplicações de dicamba + glyphosate em dezembro/2020 em função da altura de barra e distância de coleta, Bandeirantes-PR. ....	35
Tabela 6. Parâmetros ajustados para as equações de regressão espacial múltipla dos valores de dano visual após aplicações de dicamba + glyphosate em dezembro/2020 sobre plantas de soja em função da altura de barra e distância de coleta. Bandeirantes-PR. ....	38
Tabela 7. Parâmetros de comparação dos mapas de injúria em plantas e deriva coletada em fios de polietileno .....	38
Tabela 8. Tratamentos e seus respectivos fatores utilizados nos ensaios de deriva em túnel de vento (fios de polietileno e plantas).....	47

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 REFERÊNCIAS.....	10
3 CAPÍTULO I: INFLUÊNCIA DA ALTURA DE BARRA NO POTENCIAL DE DERIVA DAS APLICAÇÕES DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE.....	15
3.1 INTRODUÇÃO .....	15
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.2.1 ANÁLISE DE ESPECTRO DE GOTAS .....	17
3.2.2 DETERMINAÇÃO DE DERIVA COLETADA EM TÚNEL DE VENTO E DANOS EM PLANTAS DE SOJA .....	20
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.4 CONCLUSÕES .....	39
3.5 REFERÊNCIAS.....	41
4 CAPÍTULO II: EFEITO DA DIREÇÃO DO VENTO NA DERIVA DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE .....	44
4.1 INTRODUÇÃO .....	44
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	45
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.4 CONCLUSÃO .....	58
4.5 REFERÊNCIAS.....	59

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores países produtores mundiais de alimento, sendo conhecido como o celeiro do mundo. Devido a grande diversidade climática do país, é possível cultivar inúmeras culturas em qualquer época do ano, porém, apresenta fatores que podem reduzir drasticamente a produtividade das lavouras, pois se trata de um país com clima favorável para o ataque de variadas espécies de patógenos, pragas e plantas daninhas.

Pode-se citar as plantas daninhas como o maior problema enfrentado pelos produtores brasileiros. Cerca de 60% dos ingredientes ativos comercializados no Brasil são voltados para o controle de plantas invasoras (IBAMA, 2018). O uso em excesso de químicos pode trazer inúmeras consequências para o ambiente, como a contaminação do solo e da água e a evolução de plantas resistentes ao controle químico.

Uma das alternativas que vem sendo utilizada para aumentar a eficiência de controle das invasoras através de controle químico é a mistura em tanque diferentes herbicidas aliada ao uso de cultivares resistentes a certos herbicidas.

Será comercializado no Brasil, no ano de 2021, variedades de soja resistentes aos herbicidas dicamba e glyphosate. Embora aplicações de dicamba na cultura da soja resistente a dicamba (DR) não fornecem um espectro tão amplo quanto glyphosate, dicamba irá fornecer um novo modo de ação para ser usado nessas culturas no controle de plantas daninhas e no manejo da resistência a herbicidas.

Porém, nas aplicações podem ocorrer translocação do ativo para fora da área tratada na forma de partículas físicas, contaminação de tanques, movimento com poeira, movimento com água, ou volatilidade. As primeiras pesquisas documentaram o componente volátil de dimetilamina (DMA).

Os fatores que podem influenciar as perdas são as propriedades físico-químicas da calda de aplicação, as condições meteorológicas e a configuração do pulverizador, como a seleção da ponta, pressão de trabalho, espaçamento entre pontas, taxa de aplicação e altura da barra. A correta configuração do equipamento de pulverização é um item crítico a ser considerado para mitigar o potencial de deriva de herbicidas.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da altura de barra, ponta de pulverização e pressão de trabalho no potencial de deriva e no controle de plantas de soja das aplicações de dicamba + glyphosate em mistura de tanque.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil tornou-se o maior produtor de soja do mundo na safra 2019/2020. Segundo USDA (2020), foram produzidos cerca de 124,845 milhões de toneladas distribuídos em 36,950 milhões de hectares, resultando em uma produtividade média de 3.379 kg ha<sup>-1</sup>, dos quais 21,598 milhões de toneladas foram produzidas pelo estado do Paraná, o segundo estado com maior produção da oleaginosa no Brasil (CONAB, 2020).

A variação da produção agrícola entre as safras é explicada pelo fato de que múltiplos fatores podem reduzir a produtividade de uma lavoura, tais como as propriedades do solo, altitude e relevo, clima, disponibilidade de água, alterações de mercado, infestações de pragas, doenças e plantas daninhas (ASSAD et al., 2016). As plantas daninhas ao competir por recursos naturais como água, nutrientes, luz e espaço podem reduzir a produtividade da lavoura entre 20 a 80% do total. Os prejuízos são quantitativa e qualitativamente, por causarem maturação com baixa uniformidade as culturas, reduzindo a qualidade dos produtos que serão comercializados, dificultando a colheita e os tratos culturais e por serem hospedeiras de pragas e doenças nocivas as plantas de interesse (LORENZI, 2000).

A principal forma de controle de plantas daninhas em grandes culturas é realizada pelo uso do controle químico, devido a adoção do sistema de cultivo em plantio direto, pois este substitui o controle físico de plantas daninhas, antes realizado por meio de arações e gradagens no cultivo convencional (GOMES JR & CHRISTOFFOLETI, 2008). Entre as vantagens do controle químico, podem ser destacadas o rendimento operacional, o manejo em épocas chuvosas; ausência de danos físicos as plantas; o não revolvimento do solo e controle das plantas daninhas na linha da cultura, entretanto são necessários equipamentos adequados para a aplicação; pois podem acarretar riscos de contaminação ambiental com possível efeito residual dos herbicidas no solo e nos alimentos, como também, a indução do desenvolvimento de biótipos resistentes de plantas invasoras. (AGOSTINETTO et al., 2005). A resistência de plantas daninhas aos herbicidas ocorre devido a seleção natural de biotipos resistentes preexistentes em uma população de plantas, porém esta seleção de indivíduos resistentes pode ser acelerada pelo uso intensivo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (CHRISTOFFOLETI, 1994).

Segundo o *Herbicide Resistance Action Committee (HRAC)*, existem aproximadamente, 275 moléculas de herbicidas divididas em 26 grupos, baseado pelo modo de ação. No mundo, foram relatados 515 casos de plantas daninhas resistentes a 23 diferentes

mecanismos de ação, dos quais, plantas dicotiledôneas e monocotiledôneas representam 266 e 249 casos, respectivamente. (HEAP, 2020).

A incidência da resistência a herbicidas e a infestação de plantas daninhas resistentes crescem de forma exponencial (HEAP, 2018) enquanto a descoberta de herbicidas com novos modos de ação está em um nível de estagnação (STREK, 2014), o que leva a procurar diferentes métodos de controle de plantas daninhas afim de prolongar a eficiência dos herbicidas existentes.

O Manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) consiste na utilização de técnicas que envolvem o controle mecânico, agronômico, varietal, herbicidas com base biológica e novas tecnologias. Desses métodos, o uso de biotecnologia em forma de culturas resistentes a herbicidas é a ferramenta mais utilizada no manejo de plantas daninhas em conjunto a herbicidas, pelo fato de proporcionar mais opções para o controle das plantas indesejadas (KORRES et al., 2019). O Brasil é o segundo país do mundo com maior área plantada de transgênicos, com 50,2 milhões de hectares (ISAAA, 2018) e cerca de 93,5% da área plantada de soja foi semeada utilizando cultivares resistentes ao herbicida glifosato (CELERES, 2018).

O glifosato é considerado o herbicida mais bem sucedido da história (DUKE & POWLES, 2008). É classificado como não-seletivo com lenta ação sistêmica, pós-emergente, essencialmente inativo no solo e possui imediata translocação da área tratada aos meristemas distantes, o que resulta em morte das plantas daninhas mesmo em aplicações com baixas coberturas (LYDON & DUKE, 1988). A molécula de glyphosate [N-(phosphonomethyl)glycine] afeta as plantas inibindo a atividade da enzima 5-enol-piruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSP), necessária para a formação dos aminoácido aromáticos tirosina, triptofano e fenilalanina. Estes aminoácidos são importantes para a síntese de proteínas ligadas ao metabolismo primário e secundário. (TU et al, 2001).

Apesar de ser um excelente herbicida, sua toxicidade as culturas limitam o uso. A comercialização de culturas resistentes a glifosato (CRG), como soja, algodão, milho, alfafa, beterraba e canola, alterou a maneira de manejar as plantas daninhas, já que permite aplicação de um herbicida de amplo espectro de controle, em pós-emergência das culturas e com controle das plantas daninhas na linha de plantio (BROOKS & BARFOOT, 2014). O amplo uso do glifosato fez com que aumentasse a pressão de seleção, contribuindo para o aumento de plantas daninhas resistentes ao glifosato (KORRES et al., 2019).

O Brasil é o quinto país com maior número de casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas, com um total de 50 casos dos quais 16 casos representam plantas resistentes ao glifosato (HEAP, 2020). Das espécies com casos registrados, destaca-se a *Conyza sumatrensis*,

identificada no estado do Paraná com resistência múltipla aos modos de ação dos inibidores da sintase do EPSP (G/9 - glifosato), Inibidores da PPO (E/14 - saflufenacil), Disruptores da cadeia de elétrons - FSI (D/22 - paraquat), Inibidores do FSII (Ureas and amides - diuron) (C2/7) e Auxinas sintéticas (O/4 – 2,4-D) (DE PINHO et al., 2019). Novas tecnologias são necessárias como alternativas no MIPD para promover a redução da pressão de seleção e mitigar o desenvolvimento da resistência em plantas daninhas.

Recentemente foram obtidas cultivares de soja resistentes aos herbicidas pertencentes ao grupo das auxinas sintéticas 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) e dicamba (3,6-dichloro-2-methoxybenzoic acid) que atualmente estão registradas pela CTNBIO (BRASIL, 2017). Com o advento das cultivares tolerantes a dicamba, as aplicações deste herbicida em pós emergência da cultura passam a ser autorizadas, assim como as aplicações de manejo.

Os herbicidas do grupo dos reguladores de crescimento atuam na planta causando uma saturação na concentração de auxinas na planta, desencadeando um processo que pode ser dividido em três partes. O primeiro é a fase de estímulo, que ocorre nas primeiras horas após aplicação (HAA). Esta fase ativa a cadeia metabólica que atua sobre a biossíntese de etileno na parte aérea da planta (1-2 HAA) seguido de sintomas de crescimento desregulado, incluindo epinastia das folhas, deformações nas nervuras, tumores ao longo do caule da planta. A segunda fase ocorre em até 24 HAA e inclui inibição do crescimento das raízes e da parte aérea, com redução da elongação dos internódios e da área foliar. Aumenta a intensidade do verde da folha. Em conjunto a isso, ocorre o fechamento dos estômatos associado a redução da transpiração, assimilação de carbono e superprodução de espécies reativas de oxigênio. A terceira fase é a fase de senescência e destruição de tecidos, caracterizado pela senescência foliar acelerada com dano nos cloroplastos, clorose progressiva e pela destruição da membrana e da integridade do sistema vascular, levando a seca, necrose e morte da planta (COBB, 1992; FEDTKE & DUKE, 2005; KELLEY & RIECHERS, 2007).

Em especial nos Estados Unidos, a molécula do dicamba é usada como importante ferramenta no manejo de plantas daninhas em pastagens e em lavouras de diversos cereais, como milho, desde o início dos anos 60 (EGAN & MORTENSEN, 2012). Segundo a classificação do HRAC, a molécula é pertence ao grupo 4 (reguladores de crescimento), da família dos ácidos benzoicos (HRAC, 2020). Possui um amplo espectro de controle de dicotiledôneas em menores doses e também possui controle em plantas daninhas perenes (FUNDAMENTALS OF WEED SCIENCE). Apesar de seu uso prolongado, o herbicida apresenta apenas 17 casos de plantas daninhas resistentes, com nenhum caso ocorrendo no Brasil (HEAP, 2020). No Estado do Paraná, estão registrados para uso nas culturas da soja e

do algodão, dois produtos à base de dicamba: ATECTRA 480 SL<sup>®</sup> (BASF S.A.) e DICAMAX 480 SL<sup>®</sup> (Monsanto do Brasil).

A molécula do dicamba apresenta alto potencial de causar dano a culturas sensíveis, mesmo em baixas concentrações. Soltani, Nurse & Sikkema (2016) detectaram que em estágios iniciais (V2-3), as plantas de soja suscetível expostas a aplicações de dicamba nas concentrações de 0,75, 1,5 e 3 g e.a. ha<sup>-1</sup> apresentaram danos de visuais de 12, 18 e 25%, respectivamente. Outros autores detectaram danos semelhantes ao estudar danos visuais em soja com baixas doses de dicamba (GRIFFIN et al., 2013; AL-KHATIB & PETERSON, 1999; VIRGINIA et al., 2012).

Devido a essa alta reatividade, estima-se que, em 2017, nos Estados Unidos, aproximadamente 1,45 milhões de hectares de soja suscetíveis a dicamba tenham sofrido algum sintoma referente à deriva do herbicida, distribuídos em 2708 casos (BRADLEY, 2017). Situações como essa podem se tornar comuns no Brasil se não seguidas as recomendações de aplicação do produto.

Além de possuir um potencial risco de contaminação ou perda de produtividade, a movimentação do ingrediente ativo para fora da área tratada pode também favorecer a resistência de plantas daninhas a partir de repetidas exposições dessas a doses subletais do herbicida (HOLSINGER, 2000). Plantas de Caruru (*Amaranthus palmeri*) apresentaram aumento na resistência ao herbicida glyphosate nas gerações que seguiram aquelas expostas ao herbicida (VIEIRA et al., 2020).

A contaminação de áreas não tratadas por produtos fitossanitários pode ocorrer, principalmente de três diferentes formas: volatilidade, contaminação de tanque e por deriva no momento da aplicação. A volatilidade é uma importante propriedade química de algumas formulações de pesticidas, como o sal dimetilamina (DMA) de dicamba. Autores relatam dano de 30% em plantas de soja quando expostas aos vapores emitidos por superfícies tratadas com 280 g e.a. ha<sup>-1</sup> de Dicamba DMA (BEHRENS & LUESCHEN, 1979).

A contaminação do tanque de pulverização ocorre devido a limpeza de tanques malsucedidas. Mesmo seguindo as recomendações de tríplice lavagem do tanque, as concentrações de dicamba presentes na solução de lavagem podem chegar até 1,25 µl mL<sup>-1</sup> (BROWNE et al., 2020).

O deslocamento de gotas pela ação do vento, durante e após as aplicações, para fora da área tratada, pode ser definido como deriva. A sociedade científica reconhece que quase todas as aplicações de pesticidas produzem alguma quantidade de deriva. O objetivo de toda aplicação é fazer com que as gotas atinjam um alvo e fiquem nele (FISHEL E FERRELL,

2017). Nos sistemas agrícolas atuais, isto é inaceitável porque é necessário aplicação de pesticidas mais precisas e eficientes para seguir as demandas regulatórias e aumentar a eficiência econômica através da redução do uso de pesticidas.

O potencial de contaminação causado pela deriva é determinado por fatores externos a aplicação como as condições climáticas, por fatores intrínseco a técnica de aplicação, como pontas de pulverização e condições operacionais e por fatores relacionados à calda de pulverização, características como viscosidade e tensão superficial (SCHAMPHELEIRE et al., 2008).

O desenvolvimento de tecnologias para controlar a deriva das aplicações de pesticidas e reduzir o impacto deste no ambiente envolve extenso conhecimento sobre as condições micro-meteorológicas no momento das pulverizações (MILLER et al, 2000). Velocidade e direção do vento, temperatura, umidade relativa do ar e estabilidade atmosférica são pontos importantes que devem ser considerados na tomada de decisão de qual técnica de aplicação utilizar.

Dos fenômenos meteorológicos que afetam a deriva, o vento é considerado o mais importante, visto que atua diretamente na massa de gotas produzidas, alterando o deslocamento destas. Alves et al. (2017), ao estudarem em túnel de vento a influência da velocidade do vento na deriva das aplicações de dicamba realizada por diferentes pontas de pulverização, detectaram o aumento de 43 vezes na deriva quando a velocidade do vento aumentou de 0,9 para 4,9 m s<sup>-1</sup>.

A direção do vento não se relaciona com o potencial de deriva em si, porém este é um fator importante a se considerar quando o objetivo é evitar a contaminação de um local sensível específico, visto que a direção do vento vai determinar para onde o material pulverizado será depositado. A variação na direção do vento também pode ser usada com um indicador de estabilidade atmosférica (THISTLE, 2004).

A temperatura está diretamente ligada com a estabilidade atmosférica, já que este vai influenciar diretamente na estabilidade atmosférica. Em condições instáveis de temperatura ocorre a movimentação vertical da massa de ar, misturando a massa de ar fria com a quente, o que resulta em vento. Em condições de estáveis de atmosfera não ocorre essa mistura, o que resulta em baixas condições de dispersão das gotas pulverizadas, fazendo com que estas criem uma camada sobre o dossel que pode ser facilmente carreada pelo vento (MATTHEWS, 2000; THISTLE, 2004).

As gotas geradas após a pulverização ficam sujeitas a evaporação quando geradas em condições climáticas com baixa umidade relativa do ar. Segundo Thistle (2004), a umidade do

ar vai influenciar na redução o tamanho das gotas através da evaporação que vai reduzir a velocidade de deposição da gota, fazendo com que estas permaneçam mais tempo no ar e fiquem sujeitas a ação do vento. O potencial de evaporação está diretamente ligado com a volatilidade da solução pulverizada. Ao estudarem o potencial de evaporação do líquido pulverizado em diferentes condições psicométricas, Maciel et al. (2017) detectaram que a umidade relativa possui maior influência no potencial de evaporação do que a temperatura. A evaporação possui uma relação indireta com a umidade e uma relação direta com a temperatura.

Dos fatores que influenciam no potencial de deriva das aplicações de pesticidas que permitem a interferência com uso de tecnologia, o tamanho da gota é a principal variável na deriva das aplicações terrestres. O tamanho de gota também é um importante fator que afeta diretamente a cobertura, o depósito e a eficiência da aplicação (HEWITT et al., 2000).

Durante o processo de pulverização com pontas hidráulicas são geradas gotas de diversos tamanhos e para possível comparação entre as técnicas, foram desenvolvidos métodos que permitissem a análise das gotas geradas (FROST AND LAKE, 1981; LADING E ANDERSEN, 1989; HEWITT, 1993; MURPHY et al., 2001) e a partir desses dados é gerado uma curva de distribuição acumulativa. O diâmetro que divide o volume pulverizado em duas partes iguais é chamado de Diâmetro volumétrico 50% (DV0,5) ou Diâmetro médio volumétrico (DMV), valor utilizado para classificar a massa de gotas geradas em muito finas, finas, médias, grossas, muito grossas, extra grossas e ultra grossas (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 2018).

O espectro de gota é resultante da interação das propriedades físico-químicas da calda de aplicação, da ponta de pulverização e pressão de trabalho utilizada (SIJS & BONN, 2020). Viscosidade é considerada o principal fator relativo à calda de pulverização que irá influenciar na mudança do espectro de gotas gerados em uma pulverização, uma vez que essa é definida como resistência do fluido ao fluxo, ou seja, quanto maior a viscosidade maior deve ser a força necessária para fragmentar o fluido. Oliveira, Antuniassi & Gandolfo (2015) ao estudarem a influência de diferentes adjuvantes na deriva das pulverizações, afirmaram que a viscosidade e o DMV são os parâmetros que possuem maior relação com a deriva, onde, ambos apresentam uma correlação inversa com a variável coletada.

Outra característica alterada com a adição de diferentes produtos na calda de aplicação é a tensão superficial. Alguns autores relatam que esta propriedade pode ser relacionada a algumas mudanças na formação das gotas (MILLER & BUTTER ELLIS, 2000) porém sem correlação com a deriva das aplicações (OLIVEIRA, ANTUNIASSI & GANDOLFO, 2015).

Entretanto, a tensão superficial possui alta influência na cobertura e deposição das gotas sobre o alvo e podendo alterar a eficiência aplicação (CASTRO et al., 2018).

A correta configuração do pulverizador é um ponto crítico para se analisar quanto ao potencial de deriva de uma aplicação pois envolve a correta escolha da técnica de aplicação (ponta de pulverização x pressão de trabalho) e das características operacionais, como altura de barra, velocidade e taxa de aplicação.

As pontas de pulverização são importantes ferramentas a serem consideradas no planejamento das aplicações de pesticidas, pois representam a maneira mais efetiva de alterar o espectro de gotas. Avaliações de aplicações realizadas por diferentes pontas de pulverização em diferentes pressões, mostram que as pontas classificadas com indução de ar (AI) em menores pressões de trabalho produzem o maior DMV, quando comparadas com pontas classificadas como convencionais ou “*standard*” (GRIESANG et al., 2017; ALVES et al., 2017; ALVES, KRUGER & CUNHA, 2018; FRANÇA, CUNHA & ANTUNIASSI, 2018).

Pontas com indução de ar têm sido recomendadas por produzirem gotas maiores com uma menor quantidade de gotas propensas a sofrer deriva (< 150 µm). Estas pontas são equipadas com uma câmara de mistura mais longa com pequenos orifícios para a entrada de ar. Tais orifícios permitem que durante a passagem do líquido pela ponta, ocorra mistura de ar com a calda de aplicação devido ao “*Efeito Venturi*” (GULER et al., 2007). Aplicações realizadas por diferentes pontas AI irão resultar em diferente potencial de deriva, devido a isso, estudos comparando tais pontas em diferentes situações de trabalho são de extrema importância.

Entretanto, as pontas AI se mostram mais sensíveis às alterações nas condições de trabalho e nas características físico-químicas da calda (MILLER & BUTTER ELLIS, 2000). Quando utilizando a técnica “*Pulse Width Modulation*” com diferentes “*duty cycles*” e em menores pressões de trabalho, as pontas AI causaram a redução do ângulo do leque de pulverização gerado, resultando em áreas com sob e sobredose, consequência da alta variabilidade de deposição de calda ao longo da barra de pulverização (BUTTS et al., 2018). Para sobrepor este efeito dois fatores podem ser alterados: Pressão de trabalho e altura de barra.

Diferentes fatores operacionais nas aplicações já foram avaliados, incluindo a altura da barra de pulverização (TESKE e THISTLE, 1999; DE JONG et al., 2000), tipo de ponta e pressão (KLEIN e JOHNSON, 2002), e velocidade de direção da aplicação (GHOSH e HUNT, 1998). Embora alguns dados de deriva de campo para pulverizadores terrestres (HEWITT e WOLF, 2004) e para pulverizações aéreas (TESKE et al., 2002) foram publicados, ainda há uma necessidade de estudos relacionando a influência de todos esses fatores no potencial de deriva, de forma precisa e detalhada para ampliar o banco de dados sobre deriva. Além disso,

são necessárias informações adicionais sobre o efeito das diferentes configurações do pulverizador na quantidade de deriva a fim de comparar as medições feitas com diferentes técnicas de pulverização para uma pulverização de referência sob diferentes condições do tempo.

## 2.1 REFERÊNCIAS

Agostinetto, D., Vargas, L., Gazziero, D. L. P., & da SILVA, A. A. (2015). Manejo de plantas daninhas. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**.

Al-Khatib, K., & Peterson, D. (1999). Soybean (*Glycine max*) response to simulated drift from selected sulfonylurea herbicides, dicamba, glyphosate, and glufosinate. **Weed Technology**, 264-270.

Alves, G. S., Kruger, G. R., da Cunha, J. P. A., de Santana, D. G., Pinto, L. A. T., Guimarães, F., & Zaric, M. (2017). Dicamba spray drift as influenced by wind speed and nozzle type. **Weed Technology**, 31(5), 724-731.

Alves, G. S., Kruger, G. R., & Cunha, J. P. A. R. D. (2018). Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53(6), 693-702.

American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2018). ANSI/ASAE S572.2: Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra.sijs

Assad, E. D. (2016). **Amazônia legal: proposals for sustainable agriculture**. EESP-Escola de Economia de São Paulo.

Behrens, R., & Lueschen, W. E. (1979). Dicamba volatility. **Weed Science**, 486-493..

Bradley, K. (2017). A final report on dicamba-injured soybean acres. **Integrated Pest and Crop Manage**.

Brookes, G., & Barfoot, P. (2014). Economic impact of GM crops: the global income and production effects 1996–2012. **GM crops & food**, 5(1), 65-75.

Browne, F.B., Li, X., Price, K.J., Wang, J., Wang, Y., Kruger, G.R., Golus, J., Macedo, G.D.C., Vieira, B.C. and Sandlin, T.(2020). Dicamba Retention in Commercial Sprayers Following Triple Rinse Cleanout Procedures, and Soybean Response to Contamination Concentrations. **Agronomy**, 10(6), 772.

Butts, T. R., Luck, J. D., Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., & Kruger, G. R. (2019). Evaluation of spray pattern uniformity using three unique analyses as impacted by nozzle, pressure, and pulse-width modulation duty cycle. **Pest management science**, 75(7), 1875-1886.

Castro, E. B., Carbonari, C. A., Velini, E. D., Gomes, G. L. G. C., & Belapart, D. (2018). Influence of adjuvants on the surface tension, deposition and effectiveness of herbicides on fleabane plants. **Planta Daninha**, 36.

Christoffoleti, P. J., Victoria Filho, R., & Silva, C. B. D. (1994). Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, 12(1), 13-20.

Cobb, A. H., & Reade, J. P. (1992). Auxin-type herbicides. **Herbicides and Plant physiology**, 2.

Jong, A. D., Michielsen, J. M. G. P., Stallinga, H., & Van de Zande, J. C. (2000). Effect of sprayer boom height on spray drift. **Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent**, 65(2b), 919-930.

de Pinho, C. F., Leal, J. F. L., dos Santos Souza, A., de Oliveira, G. F. P. B., de Oliveira, C., Langaro, A. C., ... & Zobiolo, L. H. S. (2019). First evidence of multiple resistance of Sumatran Fleabane ('*Conyza sumatrensis*'(Retz.) E. Walker) to five-mode-of-action herbicides. **Australian Journal of Crop Science**, 13(10), 1688-1697.

Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, 64(4), 319-325.

Egan, J. F., & Mortensen, D. A. (2012). Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental toxicology and chemistry**, 31(5), 1023-1031.

Fedtke, C., & Duke, S. O. (2005). Herbicides. **Plant toxicology**, (Ed. 4), 247-330.

Fishel, F. M., & Ferrell, J. A. (2010). Managing pesticide drift. **EDIS**, 2010(7).

França, J. A., da Cunha, J. P., & Antuniassi, U. R. (2018). Spectrum and velocity of droplets of spray nozzles with and without air induction. **Engenharia Agrícola**, 38(2), 232-237.

Frost, A.R. and Lake, J.R. (1981) The significance of drop velocity to the determination of drop size distribution of agricultural sprays. **Journal of Agricultural Engineering Research** 26, 367–370.

Ghosh, S., & Hunt, J. (1998). Spray jets in a cross-flow. **Journal of Fluid Mechanics**, 365, 109-136.

Gomes Jr, F. G., & Christoffoleti, P. J. (2008). Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta daninha**, 26(4), 789-798.

Griesang, F., Decaro, R. A., dos Santos, C. A. M., Santos, E. S., de Lima Roque, N. H., & da Costa Ferreira, M. (2017). How much do adjuvant and nozzles models reduce the spraying drift? Drift in agricultural spraying. **American Journal of Plant Sciences**, 8(11), 2785-2794.

Griffin, J. L., Bauerle, M. J., Stephenson, D. O., Miller, D. K., & Boudreaux, J. M. (2013). Soybean response to dicamba applied at vegetative and reproductive growth stages. **Weed technology**, 27(4), 696-703.

Guler, H., Zhu, H., Ozkan, H. E., Derksen, R. C., Yu, Y., & Krause, C. R. (2007). Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, 50(3), 745-754.

Heap, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Online. Internet. Disponível em <[www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)> Acesso 23 dez, 2020.

Hewitt, A. J., Johnson, D. R., Fish, J. D., Hermansky, C. G., & Valcore, D. L. (2002). Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, 21(3), 648-658.

Hewitt, A. J. (2001). Developments in international harmonization of pesticide drift management. **Phytoparasitica**, 29(2), 93-96.

Hewitt, A.J. (1993) Droplet size spectra produced by air-assisted atomizers. **Journal of Aerosol Science** 24, 155–162.

Holsinger, K. E. (2000). Reproductive systems and evolution in vascular plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 97(13), 7037-7042.

Kelley, K. B., & Riechers, D. E. (2007). Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 89(1), 1-11.

Klein, R. N., and A. K. Johnson. 2002. Nozzle tip selection and its effect on drift and efficacy. **Aspects Appl. Biol.**, Intl. Adv. Pest. Appl. 66: 217-224

Korres, N. E., Burgos, N. R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T. K., Varanasi, V. K. & Salas-Perez, R. (2019). New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. **Advances in Agronomy**, 155, 243-319.

Lading, L. and Andersen, K. (1989) A covariance processor for velocity and size measurements In: **Laser Anemometry in Fluid Mechanics**, Vol IV (eds R.J. Adrian and D.F.C. Durao), pp.454–472. Springer-Verlag, Berlin.

Lorenzi, H. (2000). **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais** (p. 425). Nova Odessa: H. Lorenzi.

Lydon, J., & Duke, S. O. (1988). Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 36(4), 813-818.

Matthews, G. (2008). **Pesticide application methods**. John Wiley & Sons.

Miller, D. R., Stoughton, T. E., Steinke, W. E., Huddleston, E. W., & Ross, J. B. (2000). Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard. **Transactions of the ASAE**, 43(5), 1057.

Miller, P. C. H., & Ellis, M. B. (2000). Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop protection**, 19(8-10), 609-615.

Murphy, S.D., Nicholls, T., Whybrew, A., Tuck, C.R. and Parkin, C.S. (2001) Classification and imaging of agricultural sprays using a particle/droplet image analyser. **Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Weeds**, pp.677–682. BCPC, Farnham.

Oliveira, R. B., Antuniassi, U. R., & Gandolfo, M. A. (2015). Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, 35(1), 109-116.

Sijs, R., & Bonn, D. (2020). The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. **Pest management science**, 76(10), 3487-3494.

Maciel, C. F. S., Teixeira, M. M., Zolnier, S., Fernandes, H. C., & Santiago, H. (2017). Sprayed liquid loss due to evaporation in different psychrometric conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, *12*(2), 244-250.

Soltani, N., Nurse, R. E., & Sikkema, P. H. (2016). Response of glyphosate-resistant soybean to dicamba spray tank contamination during vegetative and reproductive growth stages. **Canadian Journal of Plant Science**, *96*(1), 160-164.

Strek, H. J. (2014). Herbicide resistance—what have we learned from other disciplines?. **Journal of chemical biology**, *7*(4), 129-132.

Teske, M. E., and H. W. Thistle. 1999. A simulation of release height and wind speed effects for drift minimization. **Trans. ASAE** *42*(3): 583-591.

Teske, M. E., Bird, S. L., Esterly, D. M., Curbishley, T. B., Ray, S. L., & Perry, S. G. (2002). AgDrift®: A model for estimating near-field spray drift from aerial applications. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, *21*(3), 659-671.

Thistle, H.W., 2004, October. Meteorological concepts in the drift of pesticides. In **Proceedings of International Conference on Pesticide Application for Drift Management**, October (Vol. 27, pp. 156-162).

Tu, M., Hurd, C., & Randall, J. M. (2001). Weed control methods handbook: tools & techniques for use in natural areas.

Vieira, B. C., Luck, J. D., Amundsen, K. L., Werle, R., Gaines, T. A., & Kruger, G. R. (2020). Herbicide drift exposure leads to reduced herbicide sensitivity in *Amaranthus* spp. **Scientific reports**, *10*(1), 1-11.

Virginia A, J., Loren R, F., David L, J., Keith E, E., Alexander M, S., & Alan C, Y. (2012). Cotton, peanut, and soybean response to sublethal rates of dicamba, glufosinate, and 2, 4-D. **Weed Technology**, *26*(2), 195-206.

### **3. CAPÍTULO I: INFLUÊNCIA DA ALTURA DE BARRA NO POTENCIAL DE DERIVA DAS APLICAÇÕES DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

A resistência das plantas daninhas a herbicidas comumente utilizados tem se espalhado no Brasil. Plantas como *Bidens pilosa* (TAKANO et al., 2016), *Amaranthus viridis* (PEROTTI et al., 2019) e *Conyza sumatrensis* (DE PINHO et al., 2019) apresentam resistência ao controle de dois ou mais modos de ação. Com isso, faz-se necessário a introdução de novas moléculas para o controle dessas plantas de folha larga (Eudicotiledoneas) nas culturas da soja e do algodão.

O herbicida dicamba se mostra como uma excelente alternativa para o controle das plantas daninhas citadas e de outras espécies, quando comparado com o herbicida glyphosate aplicado sozinho (JONHSON et al, 2010). Atualmente no Brasil está autorizado a comercialização de sementes de soja resistentes ao dicamba (BRASIL, 2017), porém a deriva causada por esse produto tem se tornado uma preocupação.

A deriva dos herbicidas é um processo complexo e pode ser influenciado por inúmeros fatores, como: a velocidade e direção do vento (GIL et al., 2015), temperatura do ar (BISH, GUINAN & BRADLEY, 2019), propriedades físico-químicas da calda de pulverização (GRIESANG, 2017), espectro de gotas gerado (VIEIRA et al., 2018), estágio de desenvolvimento e sensibilidade da cultura (HOLTERMAN et al, 2017). A deriva de agrotóxicos pode ser separada em duas etapas, a movimentação primária e secundária, mas que não necessariamente ocorrem uma após a outra, isto é, ambas podem ocorrer ao mesmo momento (ZIVAN, BOHNOT-RAVIV & DUBOWSKI, 2017). A primária ocorre durante o momento da aplicação e é caracterizada pela movimentação das gotas geradas para fora da área aplicada. Esta é a principal forma de contaminação mais estudada e que possui maior quantidade de recursos, tanto legislativos quanto práticos, para mitigá-la (JONES, NORSWORTHY & BARBER, 2019). Já a secundária é definida pela volatilização dos agrotóxicos após a aplicação, onde o herbicida em forma de vapor pode ser carregado pelo vento em maiores distâncias quando comparado com a deriva primária (MUELLER & STECKEL, 2019). Este fato pode ser visto em algumas formulações de dicamba, pois apresentam uma alta taxa de volatilização e podem causar danos a plantas de soja próximas, como a formulação de sal de dimetilamina (DMA) (BEHRENS E LUESCHEN, 1979).

Dentre as técnicas utilizadas para a redução da deriva primária, o uso de pontas de pulverização com técnicas de anti-deriva é considerado o mais efetivo, pois estas pontas são

caracterizadas por possuir entradas de ar, câmara de mistura e pré-orifício. Tais componentes permitem que haja a mistura do ar com a calda de pulverização devido ao fenômeno conhecido por efeito venturi, fazendo com que as gotas saiam pelo orifício final com uma menor pressão, reduzindo a fragmentação dessas (BUTTS, MORAES & KRUGER, 2018).

Plantas de soja são altamente sensíveis ao dicamba, podendo gerar sintomas como epinastia e “*leaf cupping*” mesmo quando expostas a baixas doses do herbicida (KNISS, 2018). O Principal órgão ambiental do Estados Unidos, *EPA - Environmental Protection Agency*, utiliza plantas de soja como principal bioindicador de contaminação por esse herbicida, baseando-se na redução da altura de massa das plantas tratadas (EPA, 2016).

A principal forma de se determinar o potencial de deriva das aplicações de herbicidas é a partir de estudos que podem ser realizados em campo ou em laboratório. Ambos apresentam suas particularidades. Ensaios de campo permitem uma análise mais aproximada do real, visto que os tratamentos estão expostos a uma grande variação das condições meteorológicas, ou seja, não permite repetibilidade. Em outra mão, ensaios em laboratório utilizando túnel de vento, permitem repetibilidade dos tratamentos, porém em condições atmosféricas controladas, das quais podem não representar situações encontradas no momento das aplicações.

Análises em túnel de vento além da repetibilidade, também permitem que diferentes abordagens na avaliação da deriva sejam realizadas, como no caso de avaliações espaciais da distribuição de deriva coletada (BAETENS et al., 2009).

Além da utilização das pontas, Nos últimos anos, diversas pesquisas avaliaram a influência de diferentes parâmetros sobre o potencial risco de deriva das aplicações terrestres de herbicidas (BAETENS et al., 2009; VIEIRA et al., 2020; Alves, 2017). Alguns autores relatam a influência negativa que o aumento da altura de barra no momento da aplicação tem sobre a deriva causada (BAETENS et al., 2009; NUYTTENS, ZWERTVAEGHER & DEKEYSER, 2017). Entretanto, trabalhos que relatam a interação deste fator com outros fatores em túnel de vento ainda é escassa.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da deriva das aplicações da mistura de herbicidas glyphosate + dicamba em plantas de soja sob a influencia dos fatores pontas de pulverização, pressão de trabalho e altura da barra de pulverização.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 ANÁLISE DE ESPECTRO DE GOTAS

Estudos foram conduzidos no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Pesticidas da Universidade de Nebraska-Lincoln na cidade de North Platte, Nebraska, EUA, em 2020. O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial de tratamentos 3x6x2 com três repetições. Os fatores estudados foram três modelos de pontas de pulverização, seis pressões de trabalho e duas soluções.

As caldas de aplicação consistiram na mistura em tanque de dicamba aplicado na dose de 720 g ea ha<sup>-1</sup> com glyphosate na dose de 1440 g ea ha<sup>-1</sup>, preparada para simular uma taxa de aplicação de 130 L ha<sup>-1</sup>. A segunda calda utilizada foi constituída por apenas água.

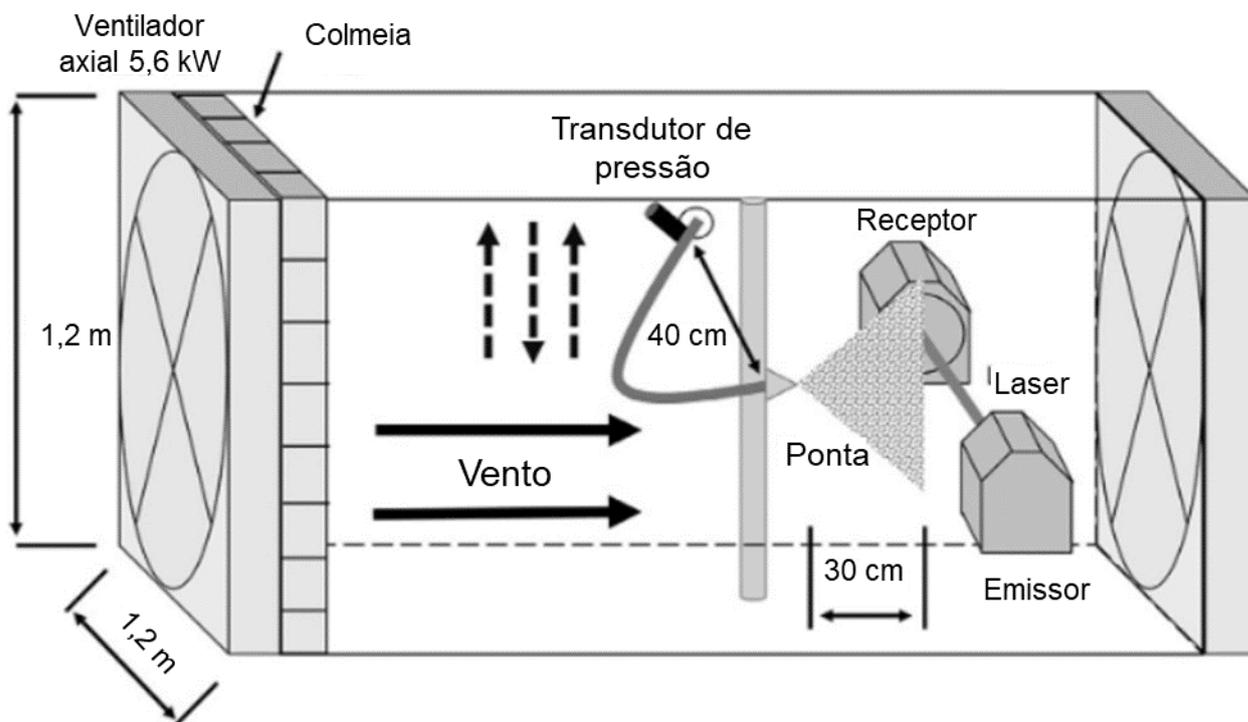
As aplicações foram realizadas usando as pontas de pulverização TTI11003 (Turbo TeeJet Induction) AIXR11003 (Air Induction Extend Range) ambas da Spraying Systems Co., Wheaton, IL, EUA e MUG11003 (Magno Ultra Grossa) da empresa Magnojet, Ibaiti, Paraná, Brasil. Para todas as pontas, foram utilizadas as pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa. Os tratamentos utilizados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Tratamentos com seus respectivos fatores utilizados para a análise de espectro de gotas.

Tratamento	Calda de aplicação	Ponta de pulverização	Pressão (kPa)
1	Água	AIXR11003	137
2	Água	AIXR11003	275
3	Água	AIXR11003	414
4	Água	AIXR11003	552
5	Água	AIXR11003	689
6	Água	AIXR11003	827
7	Água	MUG11003	137
8	Água	MUG11003	275
9	Água	MUG11003	414
10	Água	MUG11003	552
11	Água	MUG11003	689
12	Água	MUG11003	827
13	Água	TTI11003	137
14	Água	TTI11003	275
15	Água	TTI11003	414
16	Água	TTI11003	552
17	Água	TTI11003	689
18	Água	TTI11003	827
19	dicamba + glyphosate	AIXR11003	137
20	dicamba + glyphosate	AIXR11003	275
21	dicamba + glyphosate	AIXR11003	414
22	dicamba + glyphosate	AIXR11003	552
23	dicamba + glyphosate	AIXR11003	689
24	dicamba + glyphosate	AIXR11003	827
25	dicamba + glyphosate	MUG11003	137
26	dicamba + glyphosate	MUG11003	275
27	dicamba + glyphosate	MUG11003	414
28	dicamba + glyphosate	MUG11003	552
29	dicamba + glyphosate	MUG11003	689
30	dicamba + glyphosate	MUG11003	827
31	dicamba + glyphosate	TTI11003	137
32	dicamba + glyphosate	TTI11003	275
33	dicamba + glyphosate	TTI11003	414
34	dicamba + glyphosate	TTI11003	552
35	dicamba + glyphosate	TTI11003	689
36	dicamba + glyphosate	TTI11003	827

A análise de espectro de gota para cada tratamento foi medida utilizando um instrumento de difração de laser em um túnel de vento de baixa velocidade, com velocidade do vento constante de  $6,7 \text{ m s}^{-1}$ . Cada repetição consistiu em uma passagem completa do jato de

pulverização através da área de avaliação, de forma que todas as regiões do leque gerado fossem avaliadas (Figura 1 e Figura 2).



**Figura 1.** Esquema do túnel de vento e sistema de difração de laser utilizado para a análise de espectro de gotas da University of Nebraska-Lincoln. Fonte: Butts et al., 2019.



**Figura 2.** Sistema utilizado para a análise de espectro de gotas das técnicas de aplicação estudadas.

Os parâmetros coletados foram  $Dv_{0,1}$ ,  $Dv_{0,5}$  e  $Dv_{0,9}$  que representam o diâmetro ( $\mu\text{m}$ ) em que 10, 50 e 90% do volume total de pulverização foi fragmentado em gotas em diâmetros menores, respectivamente. Além disso, foi registrado a porcentagem do volume total

pulverizado em gotas com diâmetros menores ou iguais a 200  $\mu\text{m}$  (V200) e 100  $\mu\text{m}$  (V100), isto é, as gotas que tendem a proporcionar deriva pela ação do vento. Amplitude relativa (AR) é um parâmetro adimensional que representa a uniformidade da distribuição das gotas geradas e foi calculado utilizando a Equação 1:

$$AR = \frac{DV_{0.9} - DV_{0.1}}{DV_{0.5}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

AR = Amplitude relativa (adimensional);

$DV_{0.1}$  = Diâmetro da gota em que 10% do volume foi pulverizado por gotas de  $\leq$  diâmetro.

$DV_{0.5}$  = Diâmetro da gota em que 50% do volume foi pulverizado por gotas de  $\leq$  diâmetro.

$DV_{0.9}$  = Diâmetro da gota em que 90% do volume foi pulverizado por gotas de  $\leq$  diâmetro.

As classificações de pulverização foram baseadas no espectro de gotas gerados por pontas de referência que pulverizam água de acordo com o padrão ASABE S572.1 (ASABE, 2017). O conjunto de dados foi submetido a análise de variância, comparados pelo teste T de Student e as médias foram comparadas utilizando intervalo de confiança com  $\alpha = 0,05$ .

### 3.2.2 DETERMINAÇÃO DE DERIVA COLETADA EM TÚNEL DE VENTO E DANOS EM PLANTAS DE SOJA

A pesquisa foi realizada no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, no ano de 2020. O estudo foi separado em duas etapas. A primeira foi realizada para determinar a concentração de deriva coletada utilizando fios de nylon, e a segunda etapa o objetivo foi determinar o dano causado pela deriva em plantas de soja.

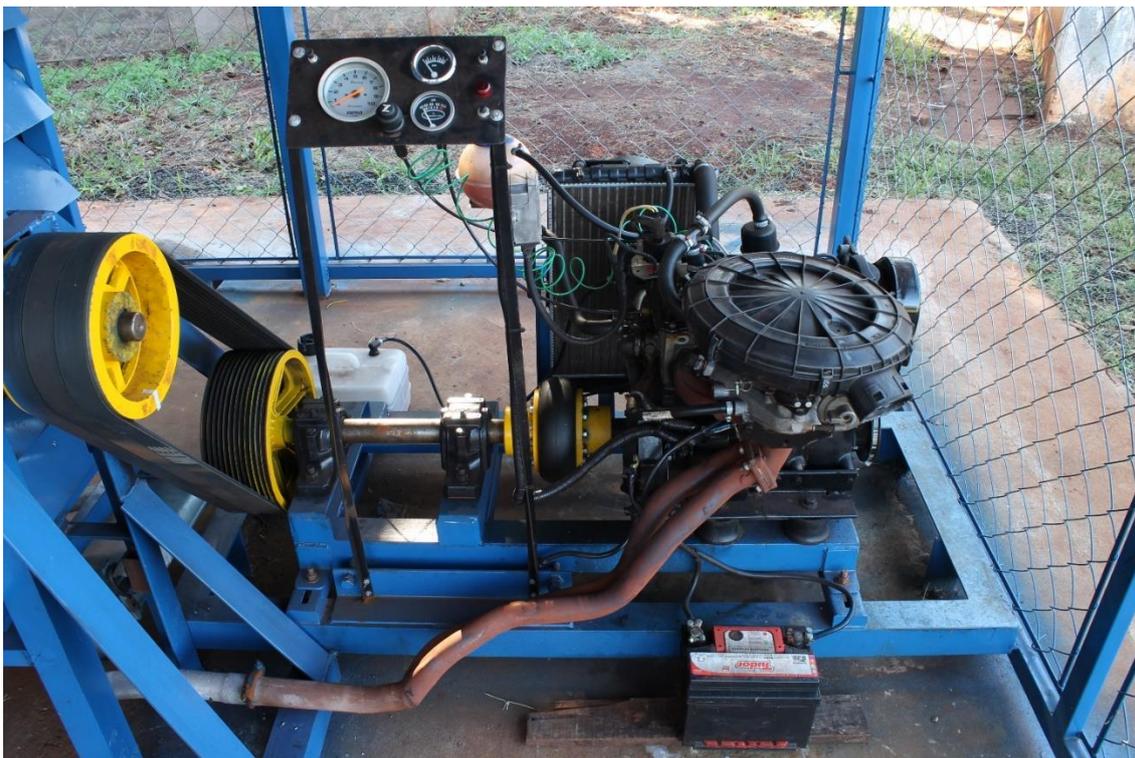
Os tratamentos foram constituídos de aplicações realizadas por três modelos de pontas de pulverização, em duas diferentes pressões de trabalho (400 e 700 kPa) e em quatro diferentes alturas de barra de pulverização, resultando em 24 tratamentos com quatro repetições, conforme apresentado na Tabela 2. A calda aplicada foi a mistura do herbicida Dicamba na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup> (Atectra<sup>®</sup>, 480 g e.a. L<sup>-1</sup>, BASF Corporation, Triangle Park, NC) e Glyphosate na dose de 3,0 L ha<sup>-1</sup> (Roundup Transorb R<sup>®</sup>, 480 g e.a. L<sup>-1</sup>, Bayer CropScience, Research Triangle Park, NC, USA), preparada na mesma concentração de uma taxa de aplicação de 130 L ha<sup>-1</sup>.

Para o ensaio de determinação de deriva em fios de nylon, durante o preparo das misturas foi adicionado como marcador o corante Azul Brillhante FCF (maltodextrina e corante artificial: azul brilhante FCF 11,00%, Duas Rodas) na concentração de 6 g L<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Tratamentos e seus respectivos fatores utilizados nos ensaios de deriva em túnel de vento (fios de polietileno e plantas).

<b>Tratamento</b>	<b>Calda de aplicação</b>	<b>Ponta de pulverização</b>	<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Altura de barra (m)</b>
1	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	0,50
2	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	0,75
3	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	1,00
4	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	1,50
5	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	0,50
6	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	0,75
7	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	1,00
8	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	1,50
9	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	0,50
10	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	0,75
11	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	1,00
12	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	1,50
13	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	0,50
14	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	0,75
15	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	1,00
16	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	1,50
17	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	0,50
18	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	0,75
19	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	1,00
20	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	1,50
21	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	0,50
22	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	0,75
23	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	1,00
24	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	1,50

A deriva coletada foi determinada em túnel de vento com seção de testes de 15 metros de comprimento de circuito aberto, 2,0 m de altura e 2,0 m largura, com um ventilador axial de dupla hélice de 0,9 m de diâmetro acionado por um motor de 90 hp acoplado em um sistema de transmissão por polias. A mudança da velocidade do vento foi realizada por meio de um controlador de rotação do motor e um sistema mecânico de abertura de entrada de ar para o ventilador.



**Figura 3.** Sistema de transmissão motor-polia para o ventilador na geração de vento.



**Figura 4.** Sistema mecânico de fechamento e abertura de entrada de ar para o ventilador.

A velocidade do vento foi de  $3,0 \text{ m s}^{-1}$  medida e monitorada por um anemômetro de fio quente com resolução de  $0,01 \text{ m s}^{-1}$  (AK833, empresa Akso<sup>®</sup>). A temperatura e umidade relativa do ar foi monitorada e registrada por um sistema automatizado e desenvolvido especificamente para o túnel de vento por meio de sensores e programação Arduino. As condições climáticas registradas durante as aplicações foram temperaturas de  $30,1^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $54,3 \% \pm 10\%$ .

Para determinar a concentração absoluta de deriva coletada, foram utilizados fios de polietileno de 2 mm de diâmetro e 1,80 metros de comprimento como coletores. Os fios de nylon foram fixados em suportes metálicos que se deslocam sobre trilhos, de modo que fiquem posicionados de maneira transversal ao sentido do fluxo de ar do túnel, nas distâncias horizontais de 2, 5, 8, 10 e 15 m da ponta de pulverização e na distância vertical de 0,30 m em relação ao piso do túnel de vento.



**Figura 5.** A) Disposição dos suportes e fixação dos fios de polietileno em diferentes alturas verticais. B) Recipiente de armazenamento e lavagem dos coletores, devidamente identificados.

Para as pulverizações, foi utilizado um sistema composto por um reservatório com capacidade de 50 L, bomba de deslocamento positivo (pistão) com vazão de  $35 \text{ L min}^{-1}$  acionada por um motor elétrico de 2,24 kW, comando hidráulico com regulador de pressão e manômetro localizados na parte de fora do túnel de vento. A barra de pulverização contém um bico composto por válvulas antigotejo, anéis de vedação, filtros de malha 80 e capa tipo rosca. Cada repetição do ensaio foi pulverizada por 2 minutos, permanecendo por mais 1 minuto somente a ventilação ligada, afim de reduzir o potencial de contaminação por alguma gota que estivesse dentro do túnel.

Após a pulverização, cada fio fixado em sua respectiva distância da ponta de pulverização foi retirado do suporte, colocado em recipiente de plástico de 1,2 litros de capacidade, nos quais foram adicionados 40 mL de água destilada e agitado por 60 segundos. As soluções resultantes de remoção de marcador dos fios foram submetidas a leitura da absorbância por meio de espectrofotometria no comprimento de onda de 630 nm.

Para a conversão dos valores de absorbância em concentração de marcador, foi realizado uma curva padrão correlacionando 15 concentrações do corante conhecidas e seus respectivos valores de absorbância, gerando uma equação linear ( $y = b + ax$ ) para estimar a concentração do corante em  $\text{mg L}^{-1}$  presente na solução de cada lavagem. De posse dos valores

da equação foi determinado OS valores capturados pelos coletores em  $\mu\text{L}$ , utilizando a Equação 2:

$$V_i = \left( \frac{C_f \times V_f}{C_i} \right) \times 1000 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$V_i$  = volume capturado pelo alvo ( $\mu\text{L}$ );

$C_i$  = concentração do corante na calda ( $6 \text{ g L}^{-1}$ );

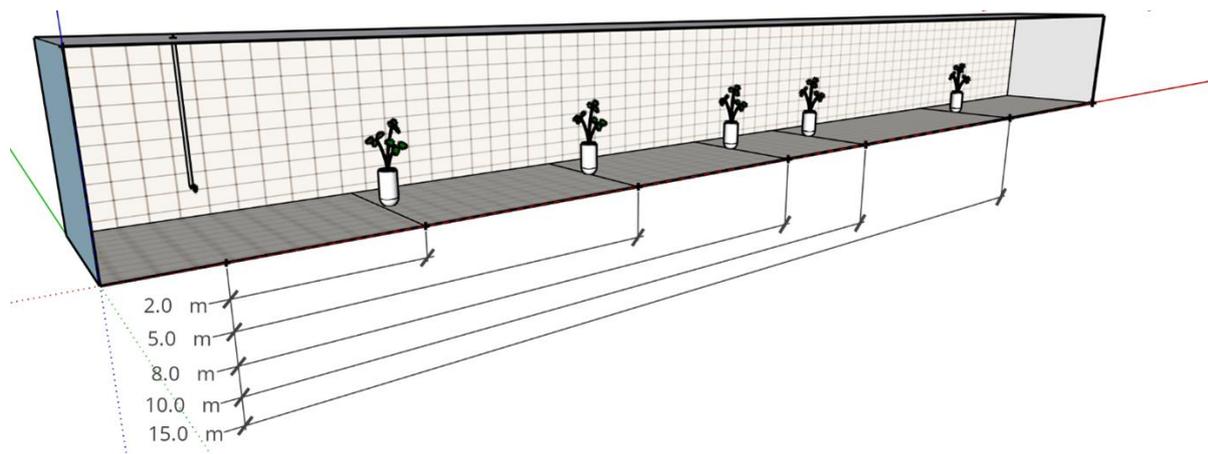
$C_f$  = concentração do corante determinada pela equação linear ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_f$  = volume que foi utilizado na lavagem da amostra (40 mL).

O resultado do volume capturado em  $\mu\text{L}$  foi dividido pela área do fio coletor ( $116,93 \text{ cm}^2$ ), obtendo a deriva coletada em  $\mu\text{L cm}^{-2}$  para cada amostra coletada.

Para o ensaio de determinação de dano em plantas de soja causado pela deriva das aplicações de dicamba + glyphosate em diferentes técnicas de aplicação, utilizou-se como indicador de deriva plantas de soja variedade BRS 543. Para a semeadura, utilizou-se como substrato a mistura de solo, areia e matéria orgânica na proporção 4:2:1. Os vasos eram irrigados duas vezes ao dia, durante o amanhecer e entardecer. As plantas foram conduzidas até que atingissem o estágio fenológico V3.

As aplicações seguiram as mesmas descrições utilizadas no ensaio de determinação da deriva coletada, exceto pelo o tempo de aplicação, no qual foi de 30 segundos de aplicação com a ventilação ligada por mais 2 minutos após o fim da pulverização. As plantas foram posicionadas nas distâncias de 2, 5, 8, 10 e 15 m de distância da ponta de pulverização, como apresentado na Figura 6.



**Figura 6.** Disposição das plantas de soja dentro do túnel de vento durante as aplicações.

Após as aplicações, as plantas foram posicionadas de maneira aleatória na estufa de forma a equalizar entre os tratamentos as condições climáticas dentro da estufa. As plantas foram avaliadas 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA).



**Figura 7.** Posicionamento das plantas dentro do túnel de vento.

Os dados coletados foram analisados pela estatística descritiva afim de analisar as medidas de tendência central, de dispersão e verificação de presença de “*outliers*”. A dispersão das gotas e/ou deriva dentro do túnel de vento para cada combinação de ponta e pressão foi representada em modelo 2D pelo método de interpolação “Polinomial local”. Para a confecção dos mapas de dispersão foram utilizados os valores que correspondem às alturas de barra de 0,50; 0,75; 1,00 e 1,50 m do piso do túnel de vento e os valores de 2, 5, 8, 10 e 15 m de distância da ponta de pulverização. A correlação espacial de deriva coletada e danos em plantas foram comparados por métodos de operações matemáticas de mapas afim de obter os valores de Coeficiente de correlação, Índice de concordância, Índice de confiança e erro médio quadrático da raiz (RMSE).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$  estão apresentados na Figura 8, enquanto os valores de AR, V200 e V100 estão apresentados na Figura 9.

Na hipótese de mudança dos valores em função das duas caldas de pulverização (água e dicamba + glyphosate) foi comparada as variáveis analisadas no espectro de gotas das pontas de pulverização em diferentes pressões e foi aplicado o teste t de Student para dados independentes ( $p < 0,05$ ). Somente a amplitude relativa apresentou diferença significativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Meyer et al (2016), que ao estudar a influência da mistura em tanque de diferentes herbicidas associados ao dicamba, detectaram que não houve diferença, segundo teste de Fisher LSD, entre os parâmetros  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$  e porcentagem de volume de gotas menores que  $141 \mu\text{m}$  ao comparar pulverizações feitas com água com aquelas realizadas com dicamba + glyphosate. O único parâmetro analisado que apresentou diferença significativa também foi a amplitude relativa.

Para os fatores  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$ , a ponta de pulverização que apresentou maiores valores foi a MUG11003, independente da pressão trabalho. Os menores valores das variáveis foram obtidos a partir das pulverizações feitas com a ponta AIXR11003, para todas as pressões de trabalho estudadas. Apesar de ambas as pontas possuírem a tecnologia de indução de ar, o  $DV_{0,5}$  gerado pela MUG11003 foi 1,96x maior do que aquele gerado pela AIXR11003, quando utilizado a pressão de 137 kPa. Esta diferença ocorre principalmente pela arquitetura da ponta de pulverização visto que a ponta MUG11003 apresenta uma maior câmara de mistura do ar que a AIXR11003. A tamanho da câmara de mistura irá alterar a relação líquido/ar que será pulverizado. Os autores observaram que maiores câmaras de misturas resultaram em maior mistura de ar e líquido, entretanto são necessárias mais pesquisas sobre este fator (VASHAHI et al., 2017).

Em relação ao  $DV_{0,1}$ , a maior diferença entre a ponta MUG11003 e TTI11003 ocorre nas maiores pressões, onde a MUG11003 na pressão de trabalho de 717 kPa resultou em valor 1,45 e 2,82 vezes maior quando comparado com as pontas TTI11003 e AIXR11003, respectivamente.

Os valores de  $DV_{0,5}$  são utilizados para determinar qual a classe de gota gerado pela ponta ao pulverizar apenas água, com base nos valores gerados pelas pontas de referência (ASABE, 2020). Os valores resultantes das pulverizações com as pontas de referência estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Espectro de gotas gerado pelas pontas de referência segundo a norma ASABE 572.3 (ASABE, 2020). North Platte, NE, EUA.

<b>Ponta de pulverização</b>	<b>Pressão de trabalho (kPa)</b>	<b>DV<sub>0,1</sub></b>	<b>DV<sub>0,5</sub></b>	<b>DV<sub>0,9</sub></b>	<b>Amplitude relativa</b>	<b>Classe de gota</b>
TP11001-SS	450	63,69	140,36	246,34	1,30	MF/F
TP11003-SS	300	114,17	253,70	416,97	1,19	F/M
TP11006-SS	200	167,57	369,99	591,76	1,15	M/G
TP8008-SS	220	190,10	426,55	721,49	1,24	G/MG
TP6510-SS	120	231,28	515,22	839,75	1,18	MG/EG
TP6515-SS	100	326,46	686,87	1108,62	1,14	EG/UG

MF = Muito fina, F = Fina, M = Média, G = Grossa, MG = Muito grossa, EG = Extra grossa, UG = Ultra grossa.

Quanto aos valores de DV<sub>0,5</sub> obtidos pelo estudo, em todas as pressões estudadas, a ponta MUG11003 pode ser classificada como geradora de gotas ultra grossas (UG), visto que os valores foram superiores àquele encontrado pela ponta de referência TP6515-SS na pressão de 100 kPa. A ponta TTI11003 sofre uma alteração na sua classificação à medida que a pressão aumenta, onde nas pressões de 137, 275 e 414 kPa a ponta gera gotas de classe ultra grossa (UG) e para as pressões de 552, 689 e 827 kPa as gotas geradas são classificadas como extra grossa (EG). A ponta de pulverização que apresentou os menores valores de DV<sub>0,5</sub> em todas as pressões foi a AIXR11003, que ao pulverizar a solução de dicamba + glyphosate nas pressões de 127 e 275 kPa pode ser classificada como extra grossa (EG) e grossa (G), respectivamente. Para as demais pressões estudadas esta ponta gerou gotas de classificação média (M).

O espectro de gotas é resultado da interação de modelo de ponta de pulverização, pressão de trabalho e calda de aplicação. Diversos autores observaram que o aumento de pressão ocasiona na redução do espectro de gotas (CREECH et al, 2015; FERGUSON, HEWITT E O'DONNELL, 2016; KOOIJ et al, 2017; MACIEL et al, 2017). Isso é devido ao aumento de energia cinética presente no líquido ao sair pelo orifício final da ponta de pulverização. Esse incremento de energia permite que haja maior fragmentação da solução de pulverização.

Os valores de DV<sub>0,1</sub>, DV<sub>0,5</sub> e DV<sub>0,9</sub> são necessários para o cálculo da amplitude relativa. Para este parâmetro, valores mais próximos de zero irão expressar maior uniformidade das gotas geradas pela ponta de pulverização. Os valores de AR, V200 e V100 estão apresentados na Figura 9.

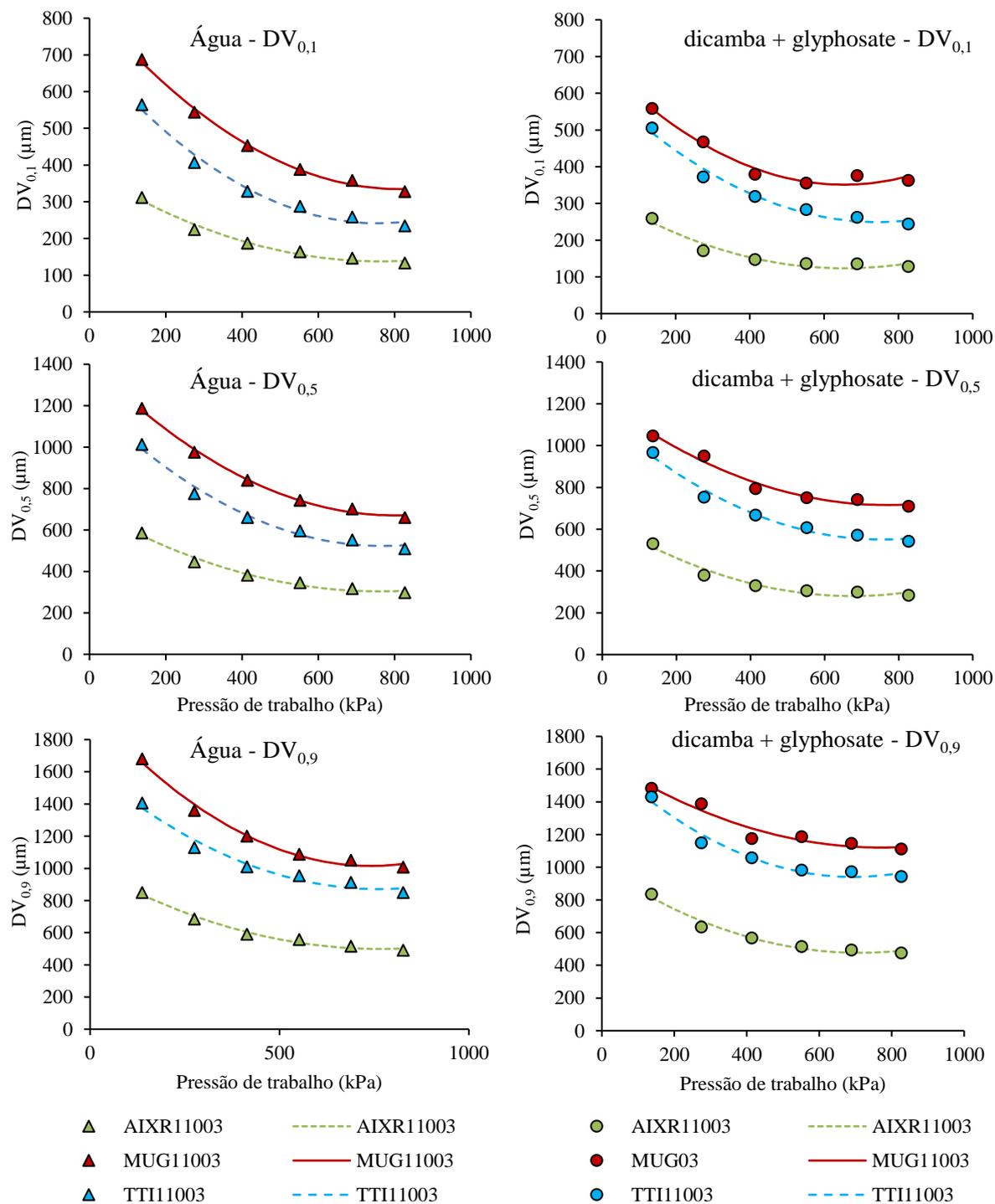
Em todas as pressões estudadas, MUG11003 apresentou os menores valores de amplitude relativa quando confrontada com as demais pontas estudadas. Observou-se uma tendência de acréscimo dos valores de AR com o aumento da pressão de trabalho. Este

fenômeno pode ser justificado pelo aumento da geração de gotas mais finas, proporcionada pelo aumento da pressão de trabalho. A redução do valor de AR é uma característica desejável nas aplicações de alta performance, visto que homogeneidade das gotas geradas permitem uma tomada de decisão com maior precisão (CUNHA et al, 2010).

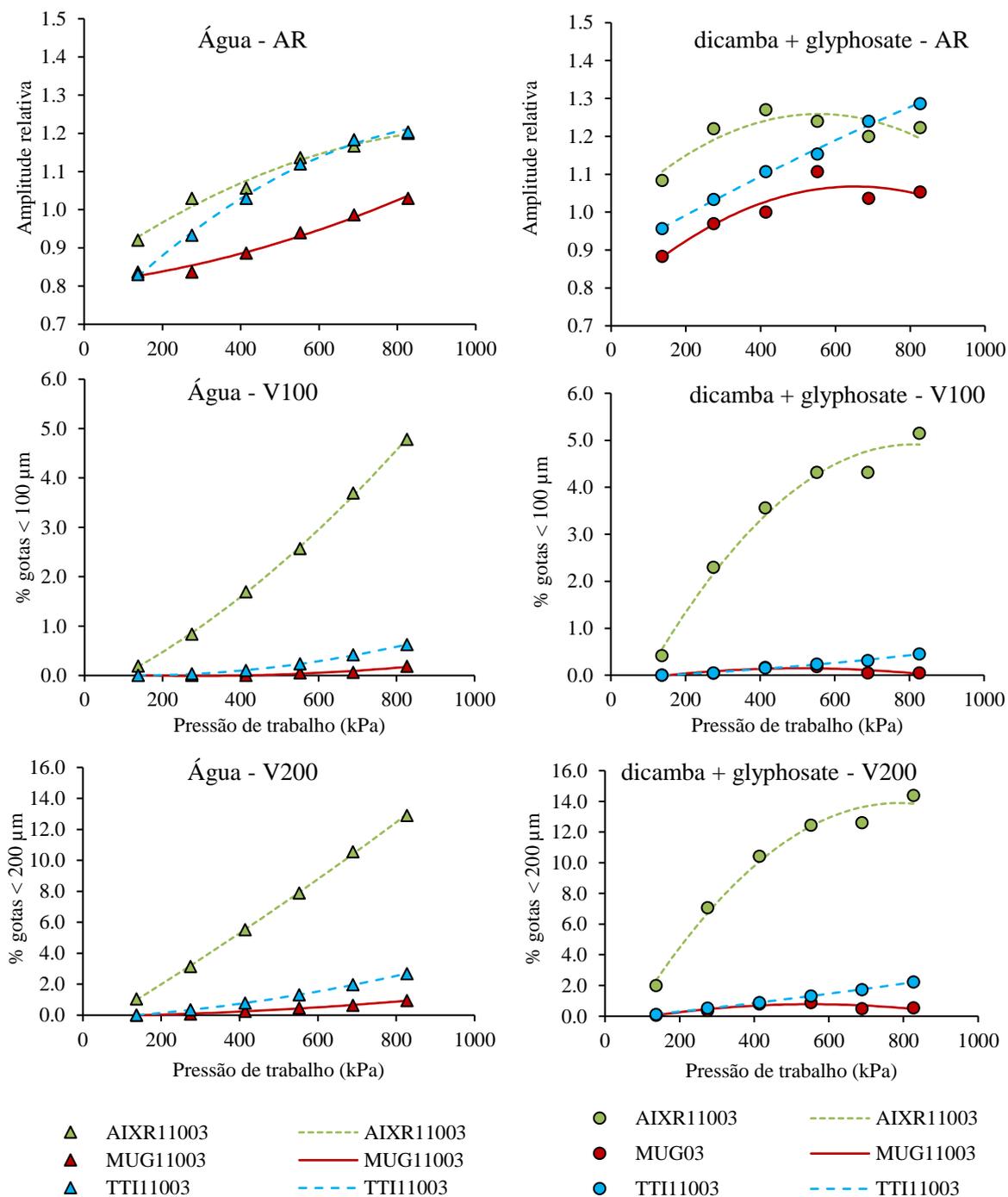
Com relação as gotas mais suscetíveis a sofrer a ação do vento, isto é, aquelas menores que 200  $\mu\text{m}$ , as pontas MUG11003 e TTI11003 resultaram em valores semelhantes para todas as pressões de trabalho, exceto para as pressões de 689 e 827 kPa, onde para a ponta TTI11003 foram observados valores de 1,72% e 2,24% e para a MUG11003 foi de 0,49% e 0,55%. Os valores de V200, fornece uma conclusão indireta quanto ao potencial de deriva de tal técnica de aplicação. Quanto menor população de gotas menores que V200, menor o potencial risco de perda da aplicação, portanto, com base nos valores encontrados nesse estudo a ponta de pulverização com menor potencial de contaminação foi a MUG11003, seguida da TTI11003 e AIXR11003.

Apesar de não possuir um valor de referência para a porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , Cunha et al (2013) citam que valores menores que 15% sejam considerados para uma aplicação segura. Porém, considerando aplicações de dicamba + glyphosate, ambos sendo herbicidas sistêmicos, o risco de causar dano em outras áreas é maior se comparado com herbicidas de contato, pois mesmo em baixas concentrações há o risco de perdas de produtividade ou de contaminação ambiental (GRIFFIN et al., 2013), portanto, técnicas de aplicação que gerem menores quantidades de gotas < 100  $\mu\text{m}$  sejam mais utilizadas.

A ponta de pulverização AIXR11003, apesar de ser uma ponta classificada como redutora de deriva devido a presença de indução de ar na câmara de mistura, apresentou a maior porcentagem de gotas deriváveis, para todas as pressões estudadas. Houve acréscimo de 12,4% de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  ao comparar as aplicações realizadas com a AIXR11003 nas pressões de 137 e 827 kPa.



**Figura 8.**  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$  das pulverizações de água e dicamba + glyphosate realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003 e TTI11003 nas pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa.



**Figura 9.** Amplitude relativa, porcentagem de volume de gotas menores que 100 e 200  $\mu\text{m}$  das pulverizações de água e dicamba + glyphosate realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003 e TTI11003 nas pressões de 137, 275, 414, 552, 689 e 827 kPa.

**Tabela 4.** Parâmetros dos modelos quadráticos  $y=a+bx+cx^2$  (Gauss-newton) ajustados para os valores das variáveis DV<sub>0,1</sub>, DV<sub>0,5</sub>, DV<sub>0,9</sub>, AR, V200 e V100 obtidos pela pulverização realizadas pelas pontas AIXR11003, MUG11003, TTI11003 das soluções Dicamba + glyphosate e água em função das pressões de trabalho estudadas. North Platte, NE, EUA.

Variáveis	Parâmetros	AIXR 11003		MUG11003		TTI11003	
		Água	Dicamba + glyphosate	Água	Dicamba + glyphosate	Água	Dicamba + glyphosate
DV <sub>0,5</sub>	A	703,75*	646,93*	1408,93*	1217,12*	1217,47*	1141,54*
	B	-1,052*	-1,084*	-1,841*	-1,305*	-1,809*	-1,569*
	C	6,92E-04*	8,01E-04*	1,15E-03*	8,49E-04*	1,18E-03*	1,04E-03*
	R <sup>2</sup>	0,98	0,96	0,99	0,98	0,98	0,98
DV <sub>0,1</sub>	A	383,44*	322,92*	834,41*	680,31*	702,83*	614,27
	B	-0,6432*	-0,6097*	-1,2271*	-1,0068*	-1,2193*	-0,9801
	C	4,21E-04*	4,66E-04*	7,53E-04*	7,70E-04*	8,06E-04*	6,58E-04
	R <sup>2</sup>	0,98	0,94	0,99	0,97	0,98	0,98
DV <sub>0,9</sub>	A	999,79*	994,40*	1981,28*	1667,24*	1619,52*	1655,47*
	B	-1,312*	-1,456*	-2,606*	-1,418*	-1,964*	-2,060*
	C	0,001*	0,001*	0,002*	0,001*	0,001*	0,001*
	R <sup>2</sup>	0,98	0,97	0,99	0,94	0,97	0,97
AR	A	0,836*	0,992*	0,807*	0,769	0,689*	0,883*
	B	0,001*	0,001*	0,0001*	0,001*	0,001*	0,001*
	C	-3,44E-07*	-8,68E-07*	1,93E-07*	-7,01E-07*	-5,11E-07*	-8,72E-08*
	R <sup>2</sup>	0,98	0,75	0,98	0,87	0,99	0,99
V200	A	-1,114*	-3,058*	-0,076*	-0,505*	-0,237*	-0,210*
	B	1,50E-02*	4,30E-02*	3,23E-04*	4,64E-03*	1,40E-03*	2,39E-03*
	C	2,41E-06*	-2,73E-05*	1,09E-06*	-4,20E-06*	2,59E-06*	6,70E-07*
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,99	0,82	0,99	0,99
V 100	A	-0,390*	-1,398*	0,044*	-0,154*	0,016*	-0,052*
	B	3,71E-03*	1,56E-02*	-3,65E-04*	1,18E-03*	-2,96E-04*	3,17E-04*
	C	3,11E-06*	-9,61E-06*	6,30E-07*	-1,16E-06*	1,25E-06*	3,42E-07*
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,95	0,70	0,99	0,99

Os mapas gerados a partir do ensaio de deriva coletada em túnel de vento estão apresentados na Figura 10. Os parâmetros de regressão múltipla ajustados para o conjunto de dados de cada combinação de ponta de pulverização e pressão estão apresentados na Tabela 5.

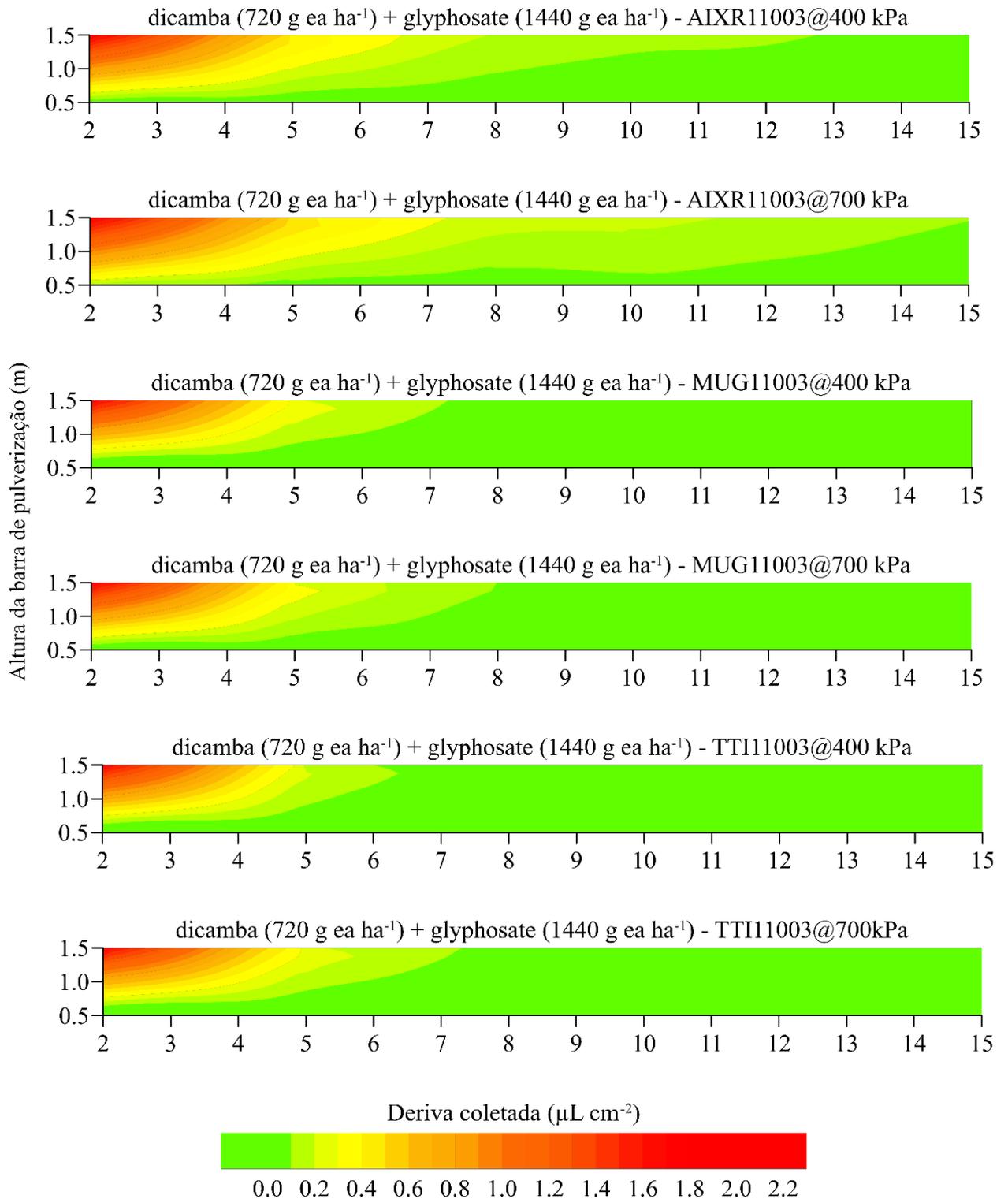
Para todos os modelos ajustados o valor do parâmetro C, que representa o intercepto estimado, não foi significativo, com exceção da combinação AIXR11003 à 700 kPa. O parâmetro A resultou, para todas as combinações de técnicas de aplicação, em valores negativos, ou seja, indicando que o aumento da distância entre os fios de nylon e a ponta de pulverização resulta em redução dos valores de deriva coletada. Está relação é bem conhecida e estudada por diversos autores (ALVES et al, 2017; WANG et al, 2020; VIEIRA et al, 2020).

A ponta AIXR11003 foi a que resultou em maiores deposições nos fios mais distantes da ponta de pulverização, em todas as alturas de barra estudadas, exceto para a altura da barra à 0,5 m do piso do túnel. As pulverizações utilizando esta ponta na pressão de 700 kPa com a altura de barra de 1,5 m resultaram nos valores mais altos de deriva coletada na distância de 15 m ( $0,1-0,2 \mu\text{L cm}^{-2}$ ). Os valores de deposição para essa técnica atingiram  $0,2-0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$  nas distâncias de 6,5, 5,0, 4,0 m para as aplicações realizadas nas alturas de barra de 1,5, 1,0 e 0,75 m, respectivamente. Para a altura de barra de 0,5 m o valor máximo de deriva detectado foi de  $0,2-0,3 \mu\text{L cm}^{-2}$ , na distância de 2 m.

Quando a solução de dicamba + glyphosate foi pulverizada com as pontas MUG11003 e TTI11003 na altura de 0,5 m e em ambas as pressões estudadas (400 e 700 kPa), a deposição nos fios posicionados a 2 m foi a mesma encontrada nos fios posicionados a 15 m de distância da ponta de pulverização ( $0,0-0,1 \mu\text{L cm}^{-2}$ ). Ao estudar o efeito da velocidade do vento nas aplicações de diferentes soluções contendo o herbicida dicamba em túnel de vento, Alves et al.(2017), não detectou diferença de deposição entre as distâncias de coleta estudadas, que variaram de 2 a 12 m. Isso ocorre devido ao espectro de gota gerado pelas pontas de pulverização, onde as gotas UC/XC sofrem menor ação do vento, ou seja, elas possuem uma trajetória linear entre a ponta de pulverização e o piso do túnel.

Observa-se que a ponta MUG11003 e TTI11003, à 400 kPa, apresentaram resultados semelhantes de deposição de deriva, diferindo-se apenas nas aplicações que ocorreram a 1,5 m do piso do solo, onde a ponta MUG11003 resultou em uma deposição que varia de  $0,1-0,2 \mu\text{L cm}^{-2}$  na distância de 7 m. Para a mesma configuração de aplicação, a maior distância em que ocorreu deposição semelhante nas aplicações realizadas com a TTI11003 foi a 6 m. O mesmo fenômeno acontece nas aplicações realizadas à 700 kPa, onde a maior distância horizontal em que houve deposição para a TTI11003 e MUG11003 foi de 7 e 8 m, respectivamente. Para ambas a deposição foi de  $0,1-0,2 \mu\text{L cm}^{-2}$ .

Para todas as combinações de pontas de pulverização e altura da barra em relação ao piso do túnel de vento, o parâmetro B da regressão múltipla ajustada aos dados foi positivo, indicando uma relação direta entre o fator estudado e a variável analisada, ou seja, o aumento na altura da barra de pulverização proporciona maior potencial de deriva nas aplicações, com maior efeito ocorrendo nos 10 m iniciais. Ao estudar o efeito de variáveis controladas pelo operador na deriva em campo, Nuyttens et al. (2007) identificaram que ao reduzir a altura da barra de 0,5 m para 0,3 m diminuiu significativamente a quantidade de deriva. Em contramão, ao aumentar a barra de 0,5 m para 0,75 m aumentou a deriva coletada. Os autores não encontraram diferença significativa de deposição nas amostras posicionadas a 10 m de distância da área pulverizada. Outros autores também concluem que operar a barra de pulverização o mais próximo possível do dossel das plantas, sem prejudicar a uniformidade de distribuição da aplicação, é uma ótima maneira de reduzir a deriva (OZKAN, 1998; TESKE E THISTLE, 1999; DE JONG et al., 2000).



**Figura 10.** Distribuição da deriva coletada ao decorrer do túnel de vento com base na altura de barra e distância entre os fios de nylon e a ponta de pulverização para cada combinação de ponta de pulverização\*pressão. Os mapas gerados representam a uma regressão múltipla igual a  $y = AX + BY + C$ .

**Tabela 5.** Parâmetros ajustados para as equações de regressão espacial múltipla dos valores de deriva coleta na altura vertical de 0,3 m após aplicações de dicamba + glyphosate em dezembro/2020 em função da altura de barra e distância de coleta, Bandeirantes-PR.

Ponta de pulverização	Pressão (kPa)	Parâmetros ajustados			R <sup>2</sup>
		A	B	C	
AIXR11003	400	-0,055*	0,563*	0,167 <sup>NS</sup>	0,46
	700	-0,062*	0,579*	0,272*	0,49
MUG11003	400	-0,035*	0,413*	0,051 <sup>NS</sup>	0,34
	700	-0,051*	0,512*	0,140 <sup>NS</sup>	0,38
TTI11003	400	-0,040*	0,420*	0,077 <sup>NS</sup>	0,31
	700	-0,042*	0,502*	0,005 <sup>NS</sup>	0,34

\*p<0,001 <sup>NS</sup>Não significativo pelo teste t  $\alpha = 0,05$ .

Os mapas obtidos a partir da interpolação das médias da injúria de plantas para cada combinação de ponta de pulverização e pressão de trabalho estão apresentados na Figura 11. Os parâmetros da regressão linear múltipla para cada combinação estão demonstrados na Tabela 6.

Para todas as combinações estudadas, assim como ocorreu para a análise de deriva coletada, houve uma relação inversa da distância entre as plantas e ponta de pulverização com a injúria nas plantas de soja, sendo retratado pelos valores do parâmetro A menores do que 0. Quanto menor os valores de A, maior foi a redução de dano nas plantas de soja a medida em que se aumenta a distância analisada. Para as aplicações realizadas a 400 kPa, a ponta que apresentou menores valores do parâmetro A foi TTI11003 (-3,20), seguida pelas pontas MUG11003 (-3,04) e AIXR11003 (-2,61).

Apesar de gerar um espectro de gota menor ao encontrado nas aplicações utilizando a MUG11003, a ponta de pulverização TTI11003 resultou em menores valores de parâmetros ajustados, isso pode ser explicado pelo V200. Ambas pontas de pulverização, na pressão de 414 kPa, apresentaram os mesmos valores para esta variável. A deriva observada por forma de dano em plantas de soja possui uma alta correlação a quantidade de gotas deriváveis, corroborando com Oliveira (2011), onde o autor identificou uma alta correlação (0,69) entre o volume de gotas V100  $\mu\text{m}$  e a deriva.

O parâmetro B representa a influência da altura de barra. Quanto maior os valores do parâmetro, maior foi o potencial do aumento da altura de barra de pulverização em causar dano às plantas de soja. Seguindo os valores obtidos para as pulverizações feitas na pressão de trabalho de 400 kPa, as pontas com maior potencial de contaminação foi a AIXR11003 (41,70), seguida das pontas MUG11003 (24,10) e TTI11003 (18,86). Para as aplicações realizadas à 700 kPa, o potencial de deriva das pontas de pulverização segue a ordem: AIXR11003 (44,88) >

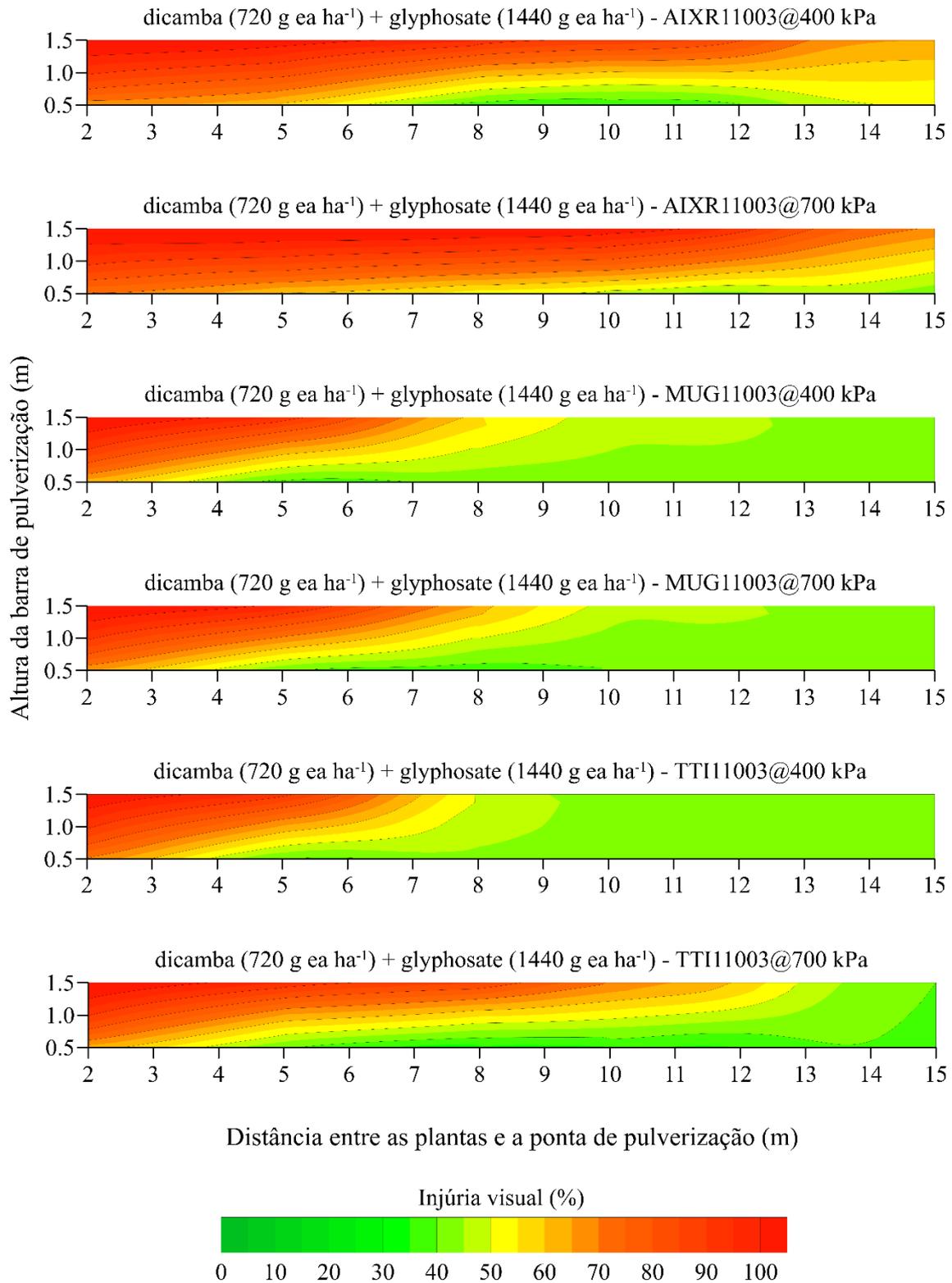
TTI11003 (37,42) > MUG11003 (26,95). Essa alteração na ordem com o aumento da pressão de trabalho possui relação com V200 e V100. Ao aumentar a pressão de 400 kPa para 700 kPa proporciona um aumento nesta variável de 1,1% para a TTI11003. Para a MUG11003 este aumento de pressão proporcionou o aumento de 0,25%. Alguns autores sugerem que a escolha do tipo de ponta para aplicações em campo devem levar em consideração oV100, visto que esse parâmetro possui uma relação linear com o potencial de deriva (Van De Zande, 2008).

Com relação ao coeficiente de regressão, todas as combinações resultaram em um coeficiente com valores maiores que 0,5, representando uma correlação forte entre os fatores altura da barra de pulverização e distância entre as plantas e a ponta de pulverização com a variável injúria em plantas de soja.

Para as aplicações realizadas com a ponta AIXR11003, em ambas as pressões de trabalho e altura de barra houve morte das plantas (100% de controle) nos primeiros 5 m. Nota-se a redução de danos com a redução da altura de barra a partir de 8 m. Para esta ponta de pulverização, a região de maior redução de danos ocorreu entre 8-12 m nas aplicações realizadas com a menor altura de barra (0,5 m). Observa-se o acréscimo de dano nos últimos metros com a altura de barra a 0,5 m, fator que vai contra ao que ocorreu nas aplicações realizadas por outras combinações de ponta\*pressão estudadas. Esta resposta pode ter sido resultado da movimentação caótica que as gotas muito finas podem proporcionar.

Nas aplicações realizadas com a ponta de pulverização AIXR11003 nas alturas de barra de 0,75, 1,0 e 1,5 m, o dano em plantas tende a ser inversamente proporcional com a distância entre a ponta de pulverização e as plantas de soja. Para esta ponta de pulverização, houve acréscimo de dano nas plantas de soja com o aumento da pressão de trabalho.

Em relação ao dano e a distância entre as plantas de soja e a ponta de pulverização, as aplicações utilizando a ponta de pulverização MUG11003 resultaram em uma tendência semelhante àquela observada nas aplicações realizadas com a ponta de pulverização AIXR11003. Maiores valores de dano em plantas de soja foram obtidos com as aplicações realizadas com a barra à 1,5 m em relação ao piso do túnel de vento. Observa-se a redução da distância percorrida pelas gotas pulverizadas à medida que a altura da barra diminui. Os maiores danos causados as plantas de soja foram resultados das aplicações com maiores alturas de barra, entretanto quando comparado com as aplicações realizadas pela ponta AIXR11003, houve menor danos geral às plantas. A partir de 9 m de distância da ponta de pulverização o máximo de dano foi entre 40-45%.



**Figura 11.** Distribuição da injúria visual ao decorrer do túnel de vento com base na altura de barra e distância entre as plantas e a ponta de pulverização para cada combinação de ponta de pulverização\*pressão. Os mapas gerados representam a uma regressão múltipla igual a  $y = AX + BY + C$ .

**Tabela 6.** Parâmetros ajustados para as equações de regressão espacial múltipla dos valores de dano visual após aplicações de dicamba + glyphosate em dezembro/2020 sobre plantas de soja em função da altura de barra e distância de coleta. Bandeirantes-PR.

Ponta de pulverização	Pressão (kPa)	Parâmetros ajustados			
		A	B	C	R <sup>2</sup>
AIXR11003	400	-2,61*	41,70*	49,91*	0,55
	700	-2,64*	44,88*	54,36*	0,66
MUG11003	400	-3,04*	24,10*	58,28*	0,55
	700	-3,35*	26,95*	58,76*	0,57
TTI11003	400	-3,20*	18,86*	64,32*	0,52
	700	-3,33*	37,42*	49,64*	0,56

\*p<0,001 <sup>NS</sup>Não significativo pelo teste t  $\alpha = 0,05$ .

O aumento de pressão resultou na redução de dano nas plantas de soja, quando as aplicações foram realizadas nas alturas de 1,0 e 1,5 m, porém o aumento da pressão de trabalho não representou um aumento geral dos danos nas plantas de soja para todas as alturas.

A ponta TTI11003 foi a ponta que apresentou maior aumento dos sintomas de dicamba + glyphosate nas plantas de soja em relação ao acréscimo de pressão. Isso pode ser visto com base nos valores do parâmetro B, que representa a variação dos danos com base na altura da barra de aplicação em relação ao solo. Para essa ponta houve o aumento de 1,98 vezes quando comparamos as aplicações realizadas à 700 e 400 kPa. Em relação as aplicações realizadas à 400 kPa, a ponta TTI11003 apresentou menor potencial de contaminação das plantas quando comparada com a ponta MUG11003 na mesma pressão.

Para a comparação dos mapas de deriva coletada e injúria em plantas foram calculados o coeficiente de correlação, índice de concordância, índice de confiança e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para todas as combinações de ponta de pulverização e pressão de trabalho. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Parâmetros de comparação dos mapas de injúria em plantas e deriva coletada em fios de polietileno

Ponta de pulverização	Pressão (kPa)	Coefficiente de correlação (r)	Índice de concordância (C.I.)	Índice de confiança (I.C.)	RMSE
AIXR11003	400	0,77	0,50	0,38	0,53
	700	0,70	0,33	0,23	0,61
MUG11003	400	0,88	0,49	0,43	0,38
	700	0,86	0,50	0,43	0,39
TTI11003	400	0,87	0,46	0,40	0,39
	700	0,80	0,42	0,34	0,43

Nota-se que para todas as combinações houve uma alta correlação entre os mapas, com valores de  $r$  maiores que 0,7. As técnicas de aplicação que utilizaram as pontas de pulverização MUG11003 e TTI11003 apresentaram maior correlação entre os mapas. Pode-se inferir que gotas mais grossas possuem uma melhor correlação entre o dano causado às plantas de soja e a deriva coletada quando comparadas com as gotas médias.

O índice de concordância (IC) se refere ao quanto a informação de um mapa está em acordo com àquela informação presente em um mapa de referência. Este índice possui valores entre 0 e 1, onde 0 correlação nenhuma e 1 representa a relação completa entre os mapas (Tabela 7).

Para os índices encontrados, o maior valor de IC foi de 0,50 para as técnicas de aplicação MUG11003 à 700 kPa e AIXR11003 à 400 kPa. Fleiss et al. (2003) classifica o I.C acima de 0,75 como excelente, entre 0,40 e 0,75 como satisfatório ou excelente e abaixo de 0,40 como pobre. Todos os I.C encontrados no estudo são classificados como satisfatórios, exceto pelo aquele encontrado para a técnica de aplicação AIXR11003 à 700 kPa, da qual possui um índice de concordância pobre (0,33). Estes valores de IC podem ser explicados pelo fato de que diferentes quantidade de dicamba podem resultar em um mesmo resultado de análise visual. Ao estudarem o efeito de aplicações de dicamba nos componentes de produtividade de soja tolerante ao herbicida glufosinato, Robinson et al.(2013) detectaram que aos 28 DAA as plantas de soja tratadas com doses de dicamba equivalente ou inferiores a  $0,1 \text{ g ha}^{-1}$  apresentaram o mesmo valor de injúria visual.

### 3.4 CONCLUSÕES

Com base nos valores encontrados, recomenda-se para a tomada de decisão sobre qual ponta de pulverização utilizar nas aplicações de dicamba + glyphosate, considerar principalmente o volume de gotas menores que 100 e 200  $\mu\text{m}$  gerados pela ponta de pulverização na variação de pressão de trabalho desejada. Com base nesses valores, para as pontas estudadas, recomenda-se a faixa de pressão de 137-689 kPa para a ponta MUG11003, 137-414 kPa para a TTI11003. Em relação ao modelo de ponta AIXR11003, devido a faixa baixa de pressão em que gera baixos volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , não se recomenda o uso dessa ponta de pulverização na aplicação do herbicida dicamba;

Há uma correlação espacial entre a deriva coletada em alvo artificial e a injúria em plantas proporcionada pela mistura de dicamba e glyphosate em função da altura da barra e distância da ponta de pulverização;

A análise bidimensional da influência da altura da barra de pulverização e da distância de coleta permite visualizar, espacialmente, que a altura da barra de pulverização e pressão de trabalho das pontas são ajustes operacionais fundamentais para reduzir a deriva física, contaminação ambiental e a injúria em plantas susceptíveis a mistura de dicamba e glyphosate;

A variação de altura da barra de pulverização de 0,5 m para 1,5 m acima do alvo potencializa o potencial de deriva no mínimo em 7,5 vezes. Na maior variação da altura da barra de pulverização (0,5 m para 1,5 m) somado a pressão máxima da ponta TTI11003 (700 kPa) a deriva foi potencializada em até 9 vezes;

A altura da barra não deve exceder de 0,5 metros como medida de redução de deriva e injúria em soja das pulverizações de herbicidas dicamba e glyphosate;

As aplicações utilizando as pontas de pulverização MUG11003 e TTI11003 na pressão de 400 kPa com a barra de pulverização a 0,5 m acima do alvo resultam nas técnicas mais adequadas para reduzir a deriva e o potencial risco de injúrias em culturas suscetíveis à mistura dos herbicidas dicamba + glyphosate.

### 3.5 REFERÊNCIAS

- Baetens, K., Ho, Q.T., Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Endalew, A.M., Hertog, M.L.A.T.M., Nicolaï, B., Ramon, H. and Verboven, P., 2009. A validated 2-D diffusion–advection model for prediction of drift from ground boom sprayers. **Atmospheric environment**, 43(9), pp.1674-1682.
- Baetens, K., Nuyttens, D., Verboven, P., De Schampheleire, M., Nicolai, B., Ramon, H., 2007. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. **Computers and Electronics in Agriculture** 56, 161–173.
- Bish, M.D., Guinan, P.E. and Bradley, K.W., 2019. Inversion climatology in high-production agricultural regions of Missouri and implications for pesticide applications. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 58(9), pp.1973-1992.
- Butts, T., Moraes, J. and Kruger, G., 2018. Impact of plugged venturi nozzle air-inclusion ports on droplet-size distribution. In **Pesticide Formulation and Delivery Systems: 38th Volume, Innovative Application, Formulation, and Adjuvant Technologies**. ASTM International.
- de Pinho, C.F., Leal, J.F.L., dos Santos Souza, A., de Oliveira, G.F.P.B., de Oliveira, C., Langaro, A.C., Machado, A.F.L., Christoffoleti, P.J. and Zobiolo, L.H.S., 2019. First evidence of multiple resistance of Sumatran Fleabane ('Conyza sumatrensis'(Retz.) E. Walker) to five-mode-of-action herbicides. **Australian Journal of Crop Science**, 13(10), pp.1688-1697.
- Gil, E., Gallart, M., Balsari, P., Marucco, P., Almajano, M.P. and Llop, J., 2015. Influence of wind velocity and wind direction on measurements of spray drift potential of boom sprayers using drift test bench. **Agricultural and forest Meteorology**, 202, pp.94-101.
- Griesang, F., Decaro, R.A., dos Santos, C.A.M., Santos, E.S., de Lima Roque, N.H. and da Costa Ferreira, M., 2017. How much do adjuvant and nozzles models reduce the spraying drift? Drift in agricultural spraying. **American Journal of Plant Sciences**, 8(11), pp.2785-2794.
- Holterman, H.J., van de Zande, J.C., Huijsmans, J.F. and Wenneker, M., 2017. An empirical model based on phenological growth stage for predicting pesticide spray drift in pome fruit orchards. **Biosystems engineering**, 154, pp.46-61.

Johnson, B., Young, B., Matthews, J., Marquardt, P., Slack, C., Bradley, K., York, A., Culpepper, S., Hager, A., Al-Khatib, K. and Steckel, L., 2010. Weed control in dicamba-resistant soybeans. **Crop Management**, 9(1), pp.1-23.

Jones, G.T., Norsworthy, J.K. and Barber, T., 2019. Off-target movement of diglycolamine dicamba to non-dicamba soybean using practices to minimize primary drift. **Weed Technology**, 33(1), pp.24-40.

Kniss, A.R., 2018. Soybean response to dicamba: a meta-analysis. **Weed Technology**, 32(5), pp.507-512.

Mueller, T.C. and Steckel, L.E., 2019. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment. **Weed Technology**, 33(4), pp.541-546.

Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Baetens, K., Sonck, B., 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. **Transactions of the ASABE** 50 (4), 1129–1140

Nuyttens, D., Zwertvaegher, I.K. and Dekeyser, D., 2017. Spray drift assessment of different application techniques using a drift test bench and comparison with other assessment methods. **Biosystems engineering**, 154, pp.14-24.

Perotti, V.E., Larran, A.S., Palmieri, V.E., Martinatto, A.K., Alvarez, C.E., Tuesca, D. and Permingeat, H.R., 2019. A novel triple amino acid substitution in the EPSPS found in a high-level glyphosate-resistant *Amaranthus hybridus* population from Argentina. **Pest management science**, 75(5), pp.1242-1251.

Takano, H.K., Oliveira Junior, R.S.D., Constantin, J., Braz, G.B.P., Franchini, L.H.M. and Burgos, N.R., 2016. Multiple resistance to atrazine and imazethapyr in hairy beggarticks (*Bidens pilosa*). **Ciência e Agrotecnologia**, 40(5), pp.547-554.

Vieira, B.C., Butts, T.R., Rodrigues, A.O., Golus, J.A., Schroeder, K. and Kruger, G.R., 2018. Spray particle drift mitigation using field corn (*Zea mays* L.) as a drift barrier. **Pest management science**, 74(9), pp.2038-2046.

Vieira, B.C., Butts, T.R., Rodrigues, A.O., Schleier III, J.J., Fritz, B.K. and Kruger, G.R., 2020. Particle drift potential of glyphosate plus 2, 4-D choline pre-mixture formulation in a low-speed wind tunnel. **Weed Technology**, 34(4), pp.520-527.

Zivan, O., Bohbot-Raviv, Y. and Dubowski, Y., 2017. Primary and secondary pesticide drift profiles from a peach orchard. **Chemosphere**, 177, pp.303-310.

## **4 CAPÍTULO II: EFEITO DA DIREÇÃO DO VENTO NA DERIVA DA MISTURA EM TANQUE DE DICAMBA + GLYPHOSATE**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

A introdução de plantas geneticamente modificadas para se tornarem resistentes a herbicidas foi a principal causa na mudança no uso e da tecnologia de aplicação. Essas plantas foram inicialmente cultivadas nos EUA em 1996 e eram resistentes ao herbicida glyphosate (GREEN et al. 2009). Este foi o herbicida mais comercializado no Brasil no ano de 2018. O uso desenfreado de um mesmo herbicida durante longos anos pode gerar biotipos resistentes de plantas daninhas, como é o caso do glyphosate, que ao redor do mundo entre os anos de 1996 e 2020 resultou em 334 casos de resistência a plantas daninhas ao redor do mundo (HEAP, 2021). A adição de outros herbicidas associados ao glyphosate tem sido uma prática comum para o manejo das plantas daninhas e para manter a efetividade do glyphosate (SHANER, 2000; BEHRENS et al., 2007), e um dos grupos de herbicidas mais utilizados é o grupo das auxinas sintéticas, em que os maiores representantes é o 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) e o dicamba (3,6-dichloro-2-methoxybenzoic acid).

Novas gerações de cultivares de soja resistentes aos herbicidas pertencentes ao grupo das auxinas sintéticas atualmente estão registradas pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBIO (BRASIL, 2017). Com o advento das cultivares tolerantes a dicamba, as aplicações deste herbicida em pós emergência da cultura passam a ser autorizadas, assim como as aplicações de manejo. O uso destas culturas geneticamente modificadas pode fazer com que haja um incremento exponencial na venda destes herbicidas, causando um possível uso excessivo, o que traz alerta de como estes produtos podem afetar os agroecossistemas (DESNEUX et al. 2007).

O principal risco do uso de herbicidas é a ação que os ingredientes ativos podem ter em espécies não alvo, alterando o ecossistema ao redor dessa espécie. Estas contaminações podem apresentar efeitos letal ou subletal (COUSIN et al., 2013; LACOUME et al., 2009). A exposição de plantas a doses subletais de dicamba pode fazer com que ocorra um estresse que altere a qualidade de espécies de plantas que sejam úteis a insetos, principalmente aos herbívoros e aos polinizadores, que são mais sensíveis a alteração do número de flores presentes (BOHNENBLUST et al. 2013). Além de causar potencial dano direto aos seres vivos, o uso inadequado e imprudente de herbicidas causa também contaminação de solo e de corpos d'água. Diversos autores relataram concentrações de glyphosate em águas superiores

àquelas autorizadas pelas agências de controle (CARLES et al., 2019; GOMES et al., 2020; BEECRAFT E ROONEY, 2021).

Dentre as formas de contaminação de áreas de preservação permanente, corpos d'água ou espécies não-alvo causadas pelo uso de pesticidas, pode-se citar a deriva física como principal causa. Deriva é definido como a porção de gotas que não atinge o alvo e se deposita em áreas não desejadas (FISHEL E FERRELL, 2017). Dentre os fatores que podem influenciar o volume de gotas a ser deslocado estão os operacionais, que incluem pressão de trabalho, altura de barra, velocidade de aplicação, ponta de pulverização (TESKE e THISTLE, 1999; DE JONG et al., 2000; KLEIN e JOHNSON, 2002; HEWITT e WOLF, 2004); propriedades físico-químicas da calda de aplicação, que incluem densidade e viscosidade (MILLER & BUTTER ELLIS, 2000); e principalmente fatores climáticos como temperatura do ar, umidade relativa, e velocidade do vento (MATTHEWS, 2008; THISTLE, 2004).

Quanto aos fatores climáticos, diversos autores relataram que em estudos de campo que a velocidade do vento e outros fatores meteorológicos têm maior efeito no potencial de deriva, quando comparado com os fatores de calda de aplicação e condições operacionais (PAYNE E Thompson, 1992; BIRD et al. 2002; TESKE et al. 2003; WANG E RAUTMAN 2008). Entretanto, a direção do vento tem sido pouco considerada quanto ao potencial risco de deriva a ser causado por uma aplicação, porém se a intenção é prevenir que ocorra deriva em algum local considerado sensível, esta variável passa ser de extrema importância.

O objetivo deste estudo foi avaliar em túnel de vento o efeito da direção do vento no potencial risco de deriva das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas por diferentes pontas de pulverização e pressões de trabalho.

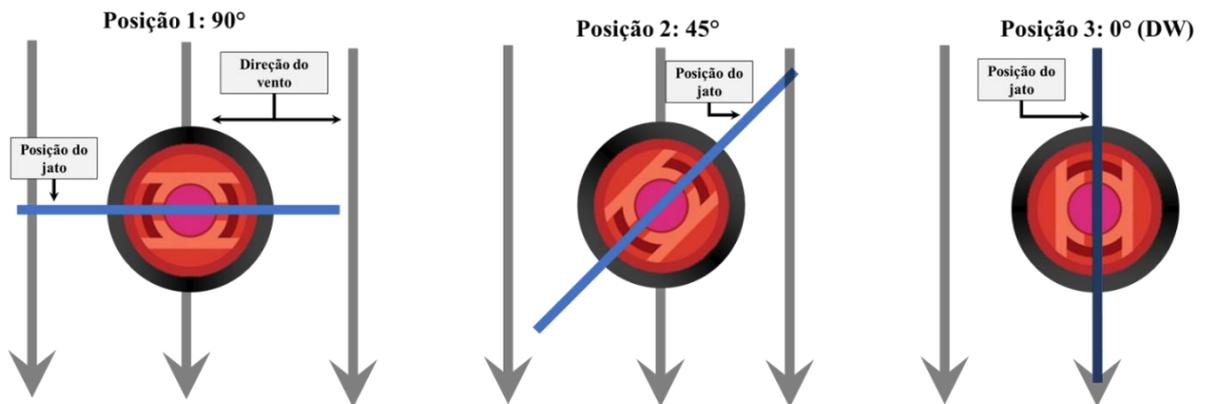
## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, no ano de 2020. O estudo foi separado em duas etapas. A primeira foi realizada para determinar a concentração de deriva coletada utilizando fios de nylon e a segunda o objetivo foi de determinar o dano causado pela deriva em plantas de soja.

Os tratamentos foram constituídos de aplicações realizadas por três modelos de pontas de pulverização, em duas diferentes pressões de trabalho e em 3 diferentes posições da ponta em relação ao vento, resultando em 18 tratamentos com quatro repetições, conforme

apresentado na Tabela 8. A calda aplicada foi a mistura do herbicida dicamba na dose de  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  (Atectra<sup>®</sup>, 480 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ , BASF Corporation, Triangle Park, NC) e glyphosate na dose de  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$  (Roundup Transorb R<sup>®</sup>, 480 g e.a.  $\text{L}^{-1}$ , Bayer CropScience, Research Triangle Park, NC, USA), preparada na mesma concentração de uma taxa de aplicação de  $130 \text{ L ha}^{-1}$ . Todas as aplicações foram realizadas com a barra de pulverização 0,5 m acima do piso do túnel de vento.

Para o ensaio de determinação de deriva em fios de nylon, durante o preparo das misturas foi adicionado como marcador o corante Azul Brilhante FCF (maltodextrina e corante artificial: azul brilhante FCF 11,00%, Duas Rodas) na concentração de  $6 \text{ g L}^{-1}$ . A posição da ponta de pulverização e relação ao vento dentro do túnel de vento foi feita alterando a direção do leque de pulverização, como apresentado na Figura 12.



**Figura 12.** Representação da posição do jato de pulverização em relação a direção do vento no interior do túnel de vento.

**Tabela 8.** Tratamentos e seus respectivos fatores utilizados nos ensaios de deriva em túnel de vento (fios de polietileno e plantas)

<b>Tratamento</b>	<b>Calda de aplicação</b>	<b>Ponta de pulverização</b>	<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Direção da ponta</b>
1	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	0°
2	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	45°
3	dicamba + glyphosate	AIXR11003	400	90°
5	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	0°
6	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	45°
7	dicamba + glyphosate	AIXR11003	700	90°
9	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	0°
10	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	45°
11	dicamba + glyphosate	MUG11003	400	90°
12	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	0°
13	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	45°
14	dicamba + glyphosate	MUG11003	700	90°
17	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	0°
18	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	45°
19	dicamba + glyphosate	TTI11003	400	90°
20	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	0°
21	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	45°
22	dicamba + glyphosate	TTI11003	700	90°

A deriva coletada foi determinada em túnel de vento com seção de testes de 15 m de comprimento de circuito aberto, 2,0 m de altura e 2,0 m largura, com um ventilador axial de dupla hélice de 0,9 m de diâmetro acionado por um motor de 67 kW acoplado em um sistema de transmissão por polias. A mudança da velocidade do vento é realizada por meio de um controlador de rotação do motor (Figura 13) e um sistema mecânico de abertura de entrada de ar para o ventilador (Figura 14).



**Figura 13.** Sistema de transmissão motor-polia para o ventilador na geração de vento.



**Figura 14.** Sistema mecânico de fechamento e abertura de entrada de ar para o ventilador.

A velocidade do vento foi de  $3,0 \text{ m s}^{-1}$  medida e monitorada por um anemômetro de fio quente com resolução de  $0,01 \text{ m s}^{-1}$  (AK833, empresa Akso®). A temperatura e umidade relativa do ar foi monitorada e registrada por um sistema automatizado e desenvolvido especificamente para o túnel de vento por meio de sensores e programação Arduino. As condições climáticas registradas durante as aplicações foram temperaturas de  $30,1^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $54,3 \% \pm 10\%$ .

Para determinar a concentração absoluta de deriva coletada, foram utilizados fios de polietileno de 2 mm de diâmetro e 1,80 metros de comprimento como coletores. Os fios de

nylon foram fixados em suportes metálicos que se deslocam sobre trilhos de modo que fiquem posicionados de maneira transversal ao sentido do fluxo de ar do túnel nas distâncias horizontais de 2, 5, 8, 10 e 15 m da ponta de pulverização e na distância vertical de 0,30 m em relação ao piso do túnel de vento.



**Figura 15.** A) Disposição dos suportes e fixação dos fios de polietileno em diferentes alturas verticais. B) Recipiente de armazenamento e lavagem dos coletores, devidamente identificados.

Para as pulverizações, foi utilizado um sistema composto por um reservatório com capacidade de 50 L, bomba de deslocamento positivo (pistão) com vazão de  $35 \text{ L min}^{-1}$  acionada por um motor elétrico de 2,24 kW, comando hidráulico com regulador de pressão e manômetro localizados na parte de fora do túnel de vento. A barra de pulverização contém um bico composto por válvulas antigotejo, anéis de vedação, filtros de malha 80 e capa tipo rosca. Cada repetição do ensaio foi pulverizada por 2 minutos, permanecendo por mais 1 minuto somente a ventilação ligada, a fim de reduzir o potencial de contaminação por alguma gota que estivesse dentro do túnel.

Após a pulverização, cada fio fixado em sua respectiva distância da ponta de pulverização foi retirado do suporte, colocado em recipiente de plástico de 1,2 litros de capacidade, nos quais foram adicionados 40 mL de água destilada e agitado por 60 segundos. As soluções resultantes de remoção de marcador dos fios foram submetidas a leitura da absorbância por meio de espectrofotometria no comprimento de onda de 630 nm.

Para a conversão dos valores de absorbância em concentração de marcador, foi realizado uma curva padrão correlacionando 15 concentrações do corante conhecidas e seus respectivos valores de absorbância, gerando uma equação linear ( $y = b + ax$ ) para estimar a concentração do corante em  $\text{mg L}^{-1}$  presente na solução de cada lavagem. De posse dos valores da equação foi determinado os valores capturados pelos coletores em  $\mu\text{L}$ , utilizando a Equação 2:

$$V_i = \left( \frac{C_f \times V_f}{C_i} \right) \times 1000 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

$V_i$  = volume capturado pelo alvo ( $\mu\text{L}$ );

$C_i$  = concentração do corante na calda ( $6 \text{ g L}^{-1}$ );

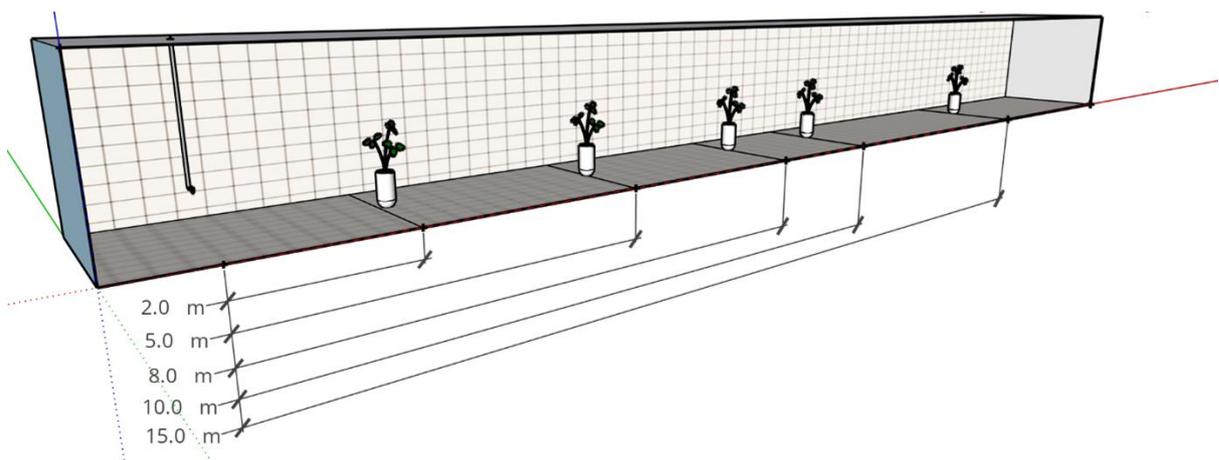
$C_f$  = concentração do corante determinada pela equação linear ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_f$  = volume que foi utilizado na lavagem da amostra (40 mL).

O resultado do volume capturado em  $\mu\text{L}$  foi dividido pela área do fio coletor ( $116,93 \text{ cm}^2$ ), obtendo a deriva coletada em  $\mu\text{L cm}^{-2}$  para cada amostra coletada.

Para o ensaio de determinação de dano em plantas de soja causado pela deriva das aplicações de dicamba + glyphosate em diferentes técnicas de aplicação, utilizou-se como indicador de deriva plantas de soja variedade BRS 543. Para a semeadura, utilizou-se como substrato a mistura de solo, areia e matéria orgânica na proporção 4:2:1. As plantas foram irrigadas duas vezes ao dia, durante o amanhecer e entardecer. As plantas foram conduzidas até que atingissem o estágio fenológico V3.

As aplicações seguiram as mesmas descrições utilizadas no ensaio de determinação da deriva coletada, exceto pelo tempo de aplicação, no qual foi de 30 segundos de aplicação com a ventilação ligada por mais 2 minutos após o fim da pulverização. As plantas foram posicionadas nas distâncias de 2, 5, 8 10 e 15 m de distância da ponta de pulverização, como apresentado na Figura 16.



**Figura 16.** Disposição das plantas de soja dentro do túnel de vento durante as aplicações.

Após as aplicações, as plantas foram posicionadas de maneira aleatória na estufa de forma a equalizar entre os tratamentos as condições climáticas dentro da estufa. As plantas foram avaliadas 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA).

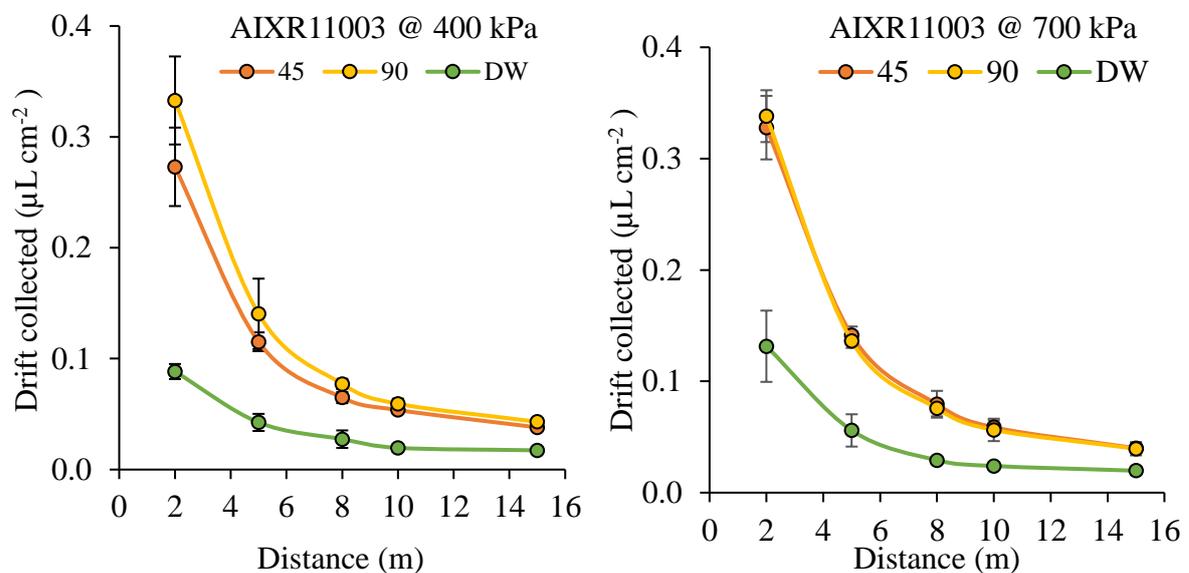


**Figura 17.** Posicionamento das plantas dentro do túnel de vento.

Os dados coletados foram analisados pela estatística descritiva afim de analisar as medidas de tendência central, de dispersão e verificação de presença de “*outliers*”. Após esta análise, os dados foram representados por gráficos de linhas e as médias foram comparadas pelo Intervalo de Confiança a 5% de probabilidade (IC<sub>95%</sub>).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de deriva coletada das aplicações realizadas com a ponta AIXR11003 em ambas as pressões de trabalho estão apresentados na Figura 18. Observa-se que para ambas as pressões estudadas, os valores de deriva coletada tendem a diminuir a medida em que se aumenta a distância de coleta em relação a ponta de pulverização, independentemente do ângulo de posicionamento da ponta de pulverização. Os maiores valores de deriva foram obtidos nas posições de 45° e 90° em relação a direção do vento. Ao avaliar a distância de coleta de 2 m, as aplicações utilizando AIXR11003 na pressão de 400 kPa com a ponta de pulverização na posição DW gerou valores de deriva 3,78 e 3,10 vezes menor quando comparado com as aplicações realizadas nas posições 90° e 45°, respectivamente. O aumento da pressão de trabalho reduziu a relação entre os valores coletados na distância de 2 m entre as posições 45° e 90° com a posição DW. Para a distância de 2m na pressão de 700 kPa, a relação 45°/DW foi de 2,50 e para a relação 90°/DW foi de 2,58. As posições 45° e 90° foram as distâncias que apresentaram maior aumento na deposição de deriva devido ao aumento da pressão de trabalho.

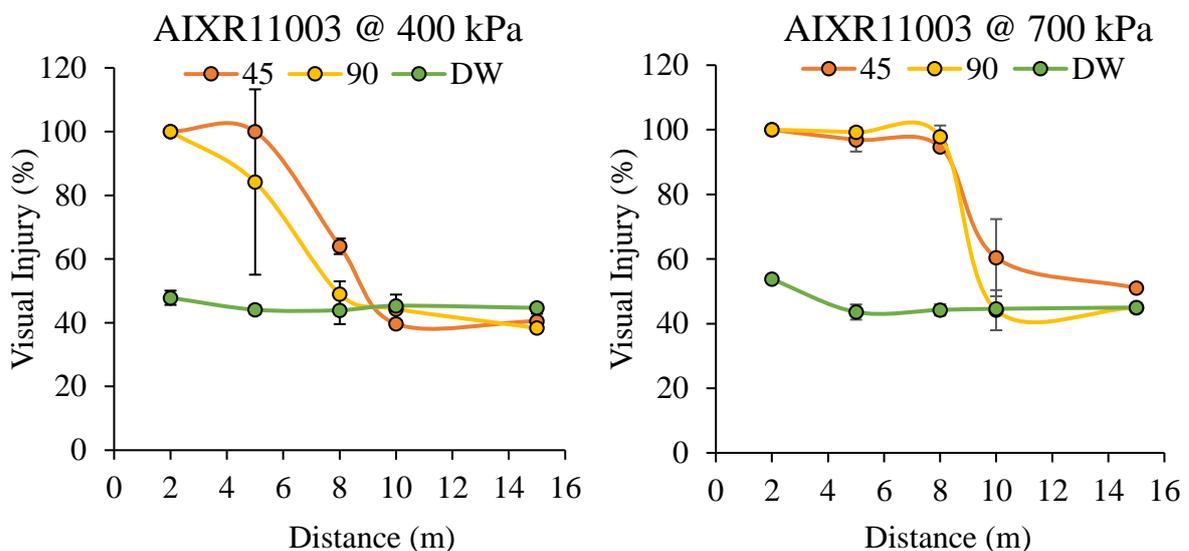


**Figura 18.** Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta AIXR11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

Os valores de injúria visual causado em plantas de soja pela aplicação de dicamba + glyphosate pulverizadas pela ponta AIXR11003 em ambas as pressões de trabalho estão apresentados na Figura 19. Para a pressão de 400 kPa, os valores de injúria visual em plantas apresentam a mesma tendência obtida a partir do experimento de deriva coletada nos fios, no

qual os valores de injúria tendem a decrescer com o aumento da distância da planta em relação a barra de pulverização. Outra semelhança entre os experimentos foi a ordem das posições de ponta que causaram maior injúria visual nas distâncias de 2, 4 e 5 m, onde a ponta posicionada a 90° apresentou os maiores valores, seguida da posição 45° e da posição DW.

Os resultados obtidos corroboram com os dados encontrados por Gil et al. (2015) que ao realizar ensaios de deriva utilizando uma bancada de teste detectou que o vento frontal (90°) em relação o sentido de direção do trator apresentou maior potencial de deriva quando comparado com o vento lateral (DW).

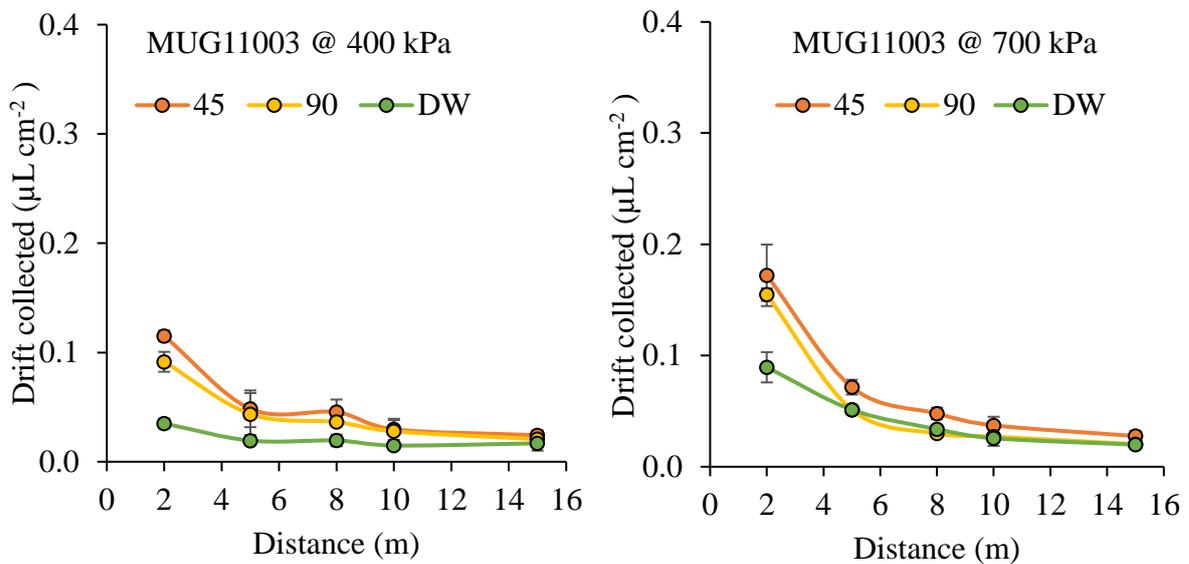


**Figura 19.** Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta AIXR11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

Ao comparar os valores de injúria visual obtidos nas distâncias de 2 e 15 m, a posição DW resultou na menor diferença entre eles (3,17%). Para as posições 45° e 90°, as diferenças foram de 55,44 e 61,67%, respectivamente. Ao comparar os valores obtidos no experimento de deriva coletada com o experimento de injúria em plantas, observa-se que os valores de injúria em planta tendem a se equalizar quando os valores de deriva coletada estão próximos de 0,05  $\mu\text{L cm}^{-2}$ . Essa tendência pode ser observada em todos as distâncias de coleta de dados, exceto nas plantas posicionadas na distância de 8 m que foram pulverizadas na pressão de 400 kPa. Nesta distância, os valores de deriva coletada para posições de 45° e 90° foi de 0,076  $\mu\text{L cm}^{-2}$  e os valores de injúria em planta foi de 97,9% e 94,7%, respectivamente.

Os dados de deriva coletada e a injúria em plantas de soja das aplicações realizadas pela ponta MUG11003 em ambas as pressões estão apresentados nas Figuras 20 e 21,

respectivamente. Os maiores valores de deriva coletada foram obtidos na posição de 45°, onde observa-se que com o aumento da pressão de 400 para 700 kPa houve um aumento dos valores de deriva coletada de 0,115 para 0,172  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , correspondendo aumento de aproximadamente 33% na distância de coleta de 2 m. Ao contrário dos dados obtidos a partir das pulverizações realizadas pela ponta AIXR11003, a ponta MUG11003 resultou em maiores valores de deriva quando posicionada a 45°, seguido da posição 90° e DW. Para esta ponta, todos os dados coletados foram menores que 0,1  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , exceto por aquele obtido na distância de 2 m para a posição 45° em ambas as pressões e na posição 90° para a pressão de 700 kPa.

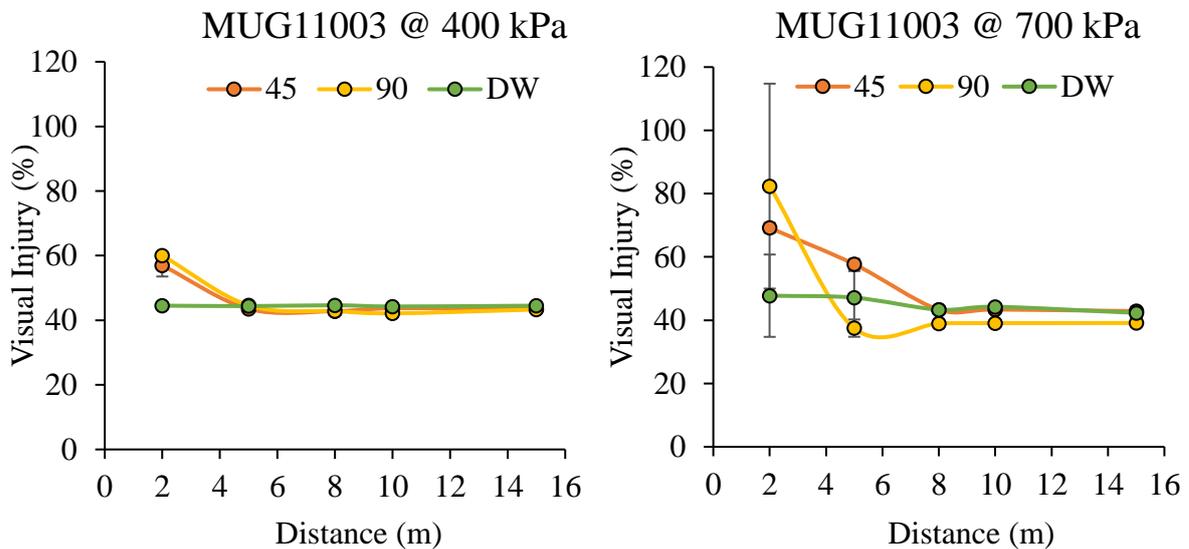


**Figura 20.** Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta MUG11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

A pressão de pulverização influenciou na injúria nas plantas e nas diferenças entre as posições das pontas de pulverização. Na menor pressão (400 kPa) apresentou diferença somente aos 2 metros de distância da ponta de pulverização. Na maior pressão (700 kPa) observa-se um aumento de injúria e diferença entre as posições das pontas aos 2 e 5 metros e para ambas as pressões acima de 8 metros não há diferença entre as posições 90°, 45° e DW. Há uma relação entre maior deriva coletada nos fios e a injúria nas plantas na distância de 5 metros.

Apesar dos valores de deriva coletada para as posições 45° e 90° terem sido superiores nas distâncias superiores a 5 m quando comparado com a posição DW, os valores de injúria em plantas foi o mesmo para todas as posições de ponta estudada. Para a pressão de 400 kPa, todos os pontos de coleta resultaram em valores próximos ou menores que 0,050  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , exceto para

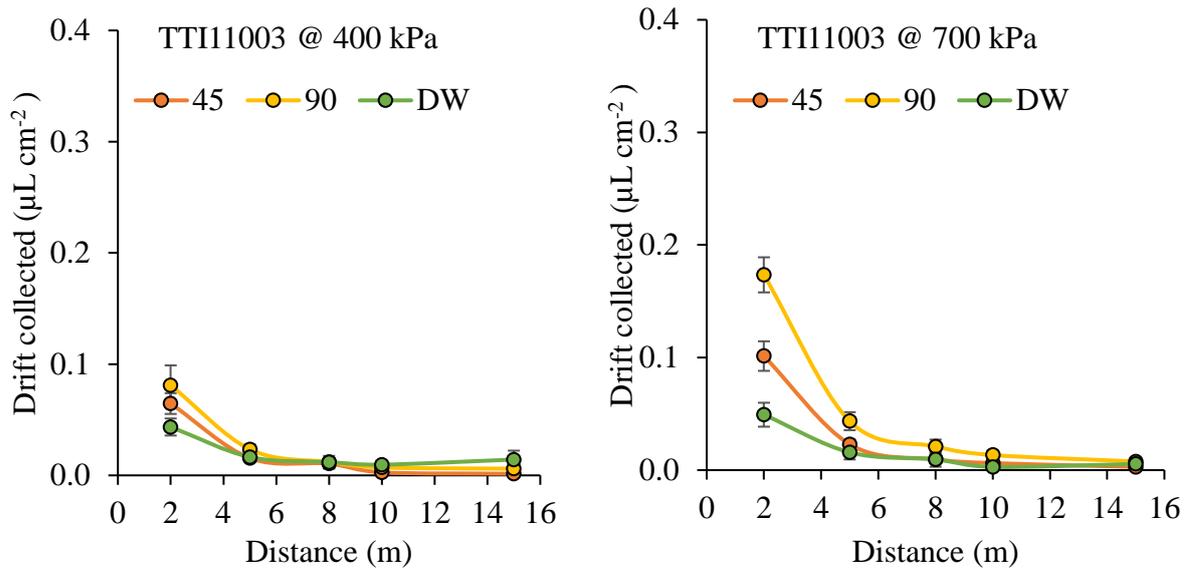
as posições 45° e 90° na menor distância de coleta, indicando que em doses inferiores o sintoma nas plantas de soja tende a ser o mesmo.



**Figura 21.** Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta MUG11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

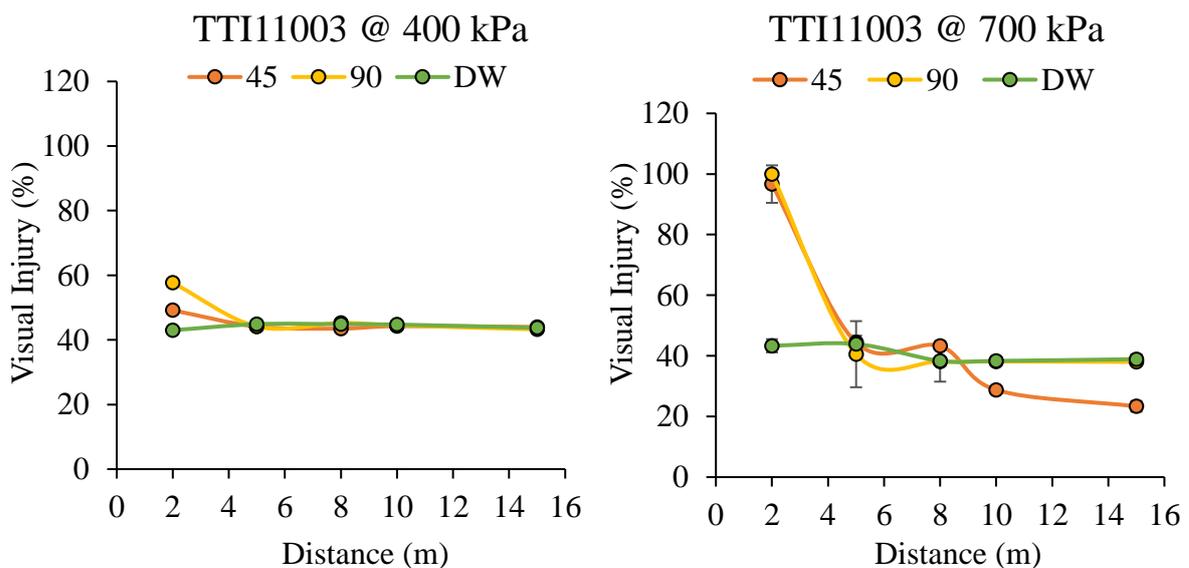
O aumento da pressão resultou em aumento da variação dos sintomas de injúria nas plantas de soja para todas as posições de ponta na distância de 2 m. Mais além, a injúria nas plantas de soja seguiu a mesma tendência observada no experimento de deriva coletada, onde houve aumento na intensidade da deriva quando comparado com a pressão de 400 kPa, porém o comportamento das curvas analisadas foi o mesmo, no qual a posição DW apresentou resultados de injúria em plantas de soja semelhantes para todas as distâncias de coleta. Entretanto as aplicações realizadas na posição 90° resultaram em menores valores quando comparado com a posição 45° na distância de 5 m.

Os dados de deriva coletada e a injúria em plantas de soja das aplicações realizadas pela ponta TTI11003 em ambas as pressões estão apresentados nas Figuras 22 e 23, respectivamente. A pressão possui influência nos valores de deriva nos diferentes ângulos de posição das pontas na menor distância de 2 metros de coleta da ponta de pulverização. Semelhante a AIXR11003, o maior valor de deriva é obtido na posição de 90° e que o aumento da pressão aumenta a diferença entre as posições 90°, 45° e DW. Também, o aumento da pressão de trabalho aumentou a diferença para as distâncias de 2 e 5 m de 90° e 45° em relação a posição DW, porém não reduziu as diferenças entre 90° e 45°.



**Figura 22.** Deriva coletada das aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta TTI11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

Quanto aos valores obtidos nas aplicações realizadas utilizando a ponta TTI11003, apresentou tendência semelhante em relação a quantidade de deriva coletada e injúria nas plantas de soja. Entretanto, com o aumento da pressão os valores resultantes de injúria em plantas demonstraram que as aplicações realizadas com a ponta de pulverização na posição 45° resultaram em menores valores de injúria quando comparada com a posição DW e 90, para as distâncias de 10 e 15 m da barra de pulverização.



**Figura 23.** Injúria visual em plantas de soja causado pelas aplicações de dicamba + glyphosate realizadas pela ponta TTI11003 nas pressões de 400 e 700 kPa em diferentes posições da ponta em relação ao vento e das distâncias de coleta dentro do túnel de vento. As barras de erros representam o Intervalo de Confiança (IC<sub>95%</sub>).

Ao comparar a relação DW/45° e DW/90° para todas as técnicas de aplicação estudadas, isto é, combinação entre ponta de pulverização e pressão de trabalho observa-se que ao utilizar a menor pressão de trabalho, as pontas AIXR11003 e MUG11003 resultam em maior sensibilidade quanto a variação da direção do vento quando comparadas com a ponta TTI11003. Para a pressão de 700 kPa, houve menor diferença entre os valores coletados nas posições 45°, 90° e DW. Nesta pressão, a ponta MUG11003 resultou em menor sensibilidade quando direção do vento. A direção do vento possui maior influência no potencial de deriva quando a pulverização é realizada em média pressão (400 kPa). Em maiores pressões os valores de deriva se iguala, mesmo quando aplicados utilizando diferentes direções do vento.

Comparando os componentes pressão de trabalho e direção do vento, observa-se que a direção do vento possui maior influência no potencial de deriva do que a pressão de trabalho. Isto pode ser visto ao comparar os valores de deriva coletada na distância de dois metros de uma mesma ponta de pulverização e direção do vento nas duas pressões estudadas, como por exemplo nas aplicações realizadas com a ponta AIXR11003 na direção DW o incremento da pressão resultou em um aumento de deriva 1,48 vezes. Enquanto a variação da direção do vento de DW para 90° nas aplicações feitas com a mesma ponta na menor pressão resultou em valores de deriva 3,78 vezes maior.

De modo geral, a ponta AIXR11003 resultou em maiores valores de deriva coletada e de injúria nas plantas de soja. As pontas MUG11003 e TTI11003 apresentaram resultados semelhantes. Os valores de deriva encontrados podem ser explicados pelo espectro de gota gerados pelas pontas de pulverização. Alves et al. (2017) relatou que a ponta AIXR110015 na pressão de 276 kPa gerou um diâmetro médio volumétrico (DMV) de 372 µm, o que a classifica como ponta geradora de gotas grossas. Ao estudar o espectro de gotas das pontas MUG11003 e TTI11003, Ferreira et al. (2020) detectou que a ponta MUG11003 gerou gotas ultra grossas enquanto a ponta TTI11003 gerou gotas extra grossas.

Em um estudo realizado para detectar o impacto da velocidade e direção do vento no potencial de deriva de pesticidas, Desmateau et al. (2019) relatam que os campos apresentam diferente orientação quanto aos corpos de água e que em um mesmo dia de aplicação a direção pode variar drasticamente durante o dia, que pode resultar em alteração no potencial de deriva e de contaminação da aplicação. Outro fator a se levar em conta é a variação da pressão de trabalho com base na velocidade de deslocamento do equipamento. O entendimento do conjunto de variáveis meteorológicas e operacionais se faz necessário para mitigar a deriva e reduzir a contaminação de fontes de água e de áreas de preservação.

#### **4.4 CONCLUSÃO**

Deve-se considerar que o potencial de deriva de uma aplicação pode alterar a todo momento e a escolha dos fatores operacionais que envolvam uma técnica de aplicação (ponta de pulverização e pressão de trabalho) adequada e menos sensível a oscilação das variáveis agrometeorológicas se faz necessária para a mitigação da deriva e de possível contaminação ambiental.

A seleção da técnica de aplicação que gere gotas ultra grossas associadas a pressões medianas (<400 kPa) são exemplos de ajustes operacionais que podem contribuir para reduzir os efeitos naturais das ocorrências de mudanças direcionais do vento no momento das aplicações.

O potencial de deriva tende a diminuir com a redução da exposição do jato de pulverização em relação ao vento, isto é, a deriva é menor quando o jato esta orientado no sentido do vento.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

- Alves, G. S., Kruger, G. R., da Cunha, J. P. A., de Santana, D. G., Pinto, L. A. T., Guimarães, F., & Zaric, M. (2017). Dicamba spray drift as influenced by wind speed and nozzle type. **Weed Technology**, 31(5), 724-731.
- Beecraft, L., & Rooney, R. (2021). Bioconcentration of glyphosate in wetland biofilms. **Science of The Total Environment**, 756, 143993.
- Behrens, M. R., Mutlu, N., Chakraborty, S., Dumitru, R., Jiang, W. Z., LaVallee, B. J. & Weeks, D. P. (2007). Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, 316(5828), 1185-1188.
- Bird, S. L., Perry, S. G., Ray, S. L., & Teske, M. E. (2002). Evaluation of the AgDISP aerial spray algorithms in the AgDRIFT model. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, 21(3), 672-681.
- Bohnenblust, E., Egan, J. F., Mortensen, D., & Tooker, J. (2013). Direct and indirect effects of the synthetic-auxin herbicide dicamba on two lepidopteran species. **Environmental entomology**, 42(3), 586-594.
- Carles, L., Gardon, H., Joseph, L., Sanchís, J., Farré, M., & Artigas, J. (2019). Meta-analysis of glyphosate contamination in surface waters and dissipation by biofilms. **Environment international**, 124, 284-293.
- Cousin, M., Silva-Zacarin, E., Kretzschmar, A., El Maataoui, M., Brunet, J. L., & Belzunces, L. P. (2013). Size changes in honey bee larvae oenocytes induced by exposure to paraquat at very low concentrations. **PLoS One**, 8(5), e65693.
- Desmarteau, D. A., Ritter, A. M., Hendley, P., & Guevara, M. W. (2019). of Wind Speed and Direction and Key Meteorological Parameters on Potential Pesticide Drift Mass Loadings from Sequential Aerial Applications. **Integr Environ Assess Manag**, 1, 14.
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annu. Rev. Entomol.**, 52, 81-106.
- Ferreira, P. H. U., Thiesen, L. V., Pelegri, G., Ramos, M. F. T., Pinto, M. M. D., & da Costa Ferreira, M. (2020). Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Scientific Reports**, 10(1), 1-11.

Gil, E., Gallart, M., Balsari, P., Marucco, P., Almajano, M. P., & Llop, J. (2015). Influence of wind velocity and wind direction on measurements of spray drift potential of boom sprayers using drift test bench. **Agricultural and forest Meteorology**, 202, 94-101.

Gomes, M. P., Rocha, D. C., de Brito, J. C. M., Tavares, D. S., Marques, R. Z., Soffiatti, P., & Sant'Anna-Santos, B. F. (2020). Emerging contaminants in water used for maize irrigation: Economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. **Ecotoxicology and environmental safety**, 196, 110549.

Green, J. M. (2009). Evolution of glyphosate-resistant crop technology. **Weed Science**, 57(1), 108-117.

Lacoume, S., Bressac, C., & Chevrier, C. (2009). Male hypofertility induced by Paraquat consumption in the non-target parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). **Biological control**, 49(3), 214-218.

Payne, N. J., & Thompson, D. G. (1992). Off-target glyphosate deposits from aerial silvicultural applications under various meteorological conditions. **Pesticide science**, 34(1), 53-59.

Shaner, D. L. (2000). The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, 56(4), 320-326.

Teske, M. E., Bird, S. L., Esterly, D. M., Ray, S. L., & Perry, S. G. (2003). **A User's Guide for AgDRIFT® 2.0. 05, Regulatory Version**. CDI, Ewing, NJ (No. 01-02). CDI Report.

Wang, M., & Rautmann, D. (2008). A simple probabilistic estimation of spray drift—factors determining spray drift and development of a model. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, 27(12), 2617-2626.