

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Volatilização e espectro de gotas do dicamba influenciada por diferentes
formulações, adjuvantes e sais de glifosato**

Wilson Geraldo Pereira Neto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2021**

Wilson Geraldo Pereira Neto
Engenheiro Agrônomo

**Volatilização e espectro de gotas do dicamba influenciada por diferentes formulações,
adjuvantes e sais de glifosato**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Pereira Neto, Wilson Geraldo

Volatilização e espectro de gotas do dicamba influenciada por diferentes formulações, adjuvantes e sais de glifosato / Wilson Geraldo Pereira Neto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

81 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Deriva 2. Volatilização 3. Espectro de gotas 4. Dicamba I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus que com sua infinita sabedoria foi um verdadeiro guia nessa jornada. Dedico também a minha família, em especial a minha mãe Christiane, meu pai Wilson, minha irmã Caroline e namorada Jackeline por sempre acreditarem em mim e tornarem este sonho possível.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe Christiane Padoin Monteil, meu pai Wilson Geraldo Pereira Junior e a minha irmã Caroline Monteil Pereira, pelo amor, carinho e por sempre me apoiarem e me mostrarem os caminhos para conquistar meus objetivos.

À minha melhor amiga e namorada, Jackeline Pedriana Borba, que sempre me ajudou e teve paciência nos momentos em que eu estava me dedicando ao trabalho e estudos.

Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti, por toda a ajuda nesses mais de cinco anos, agradecer a confiança e as oportunidades que me ofereceu. Pelo convívio, do qual pude tomar muito aprendizado.

À gloriosa Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por todo o crescimento pessoal, profissional e acadêmico proporcionado.

Ao professor da Universidade Federal da Grande Dourados, Dr. Paulo Vinicius da Silva, pela amizade, conselhos e por sua coorientação desde a época de graduação até o presente momento.

Ao pesquisador associado da Universidade de Wisconsin – Madison, Dr. Maxwel Coura Oliveira, por todos conselhos e apoio, principalmente, na parte estatística.

A empresa BASF e seus pesquisadores, principalmente, Dr. Caio Fortes e Adriano Vilames da Silva pela paciência, disponibilização da estrutura da empresa e toda ajuda possível para realização desse projeto.

A empresa BAYER e ao líder de manejo de resistência de herbicidas, Dr. Ramiro F. Lopez Ovejero, por todo apoio e auxílio de materiais no desenvolvimento da pesquisa.

Ao grupo de plantas daninhas (GEBPD) da ESALQ, em especial aos mestrandos Pablo Alves de Sousa e Francielli Oliveira, pela amizade, conselhos e companheirismo nas horas de trabalho.

Aos pesquisadores da Agrocom, em especial ao Dr. Acácio Gonçalves Netto, Ms. Marcelo Malardo e Dr. Marcelo Nicolai pela ajuda técnica.

Ao grupo de funcionários do Departamento de Produção Vegetal, em especial à Angela Márcia Derigi Silva, Profa. Dra. Simone Rodrigues Silva e Luciane Aparecida Lopes Toledo.

À república Potiguara e todos os moradores e ex-moradores, em especial aqueles que tive o prazer de conviver, ajudando em meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ-USP, por todo suporte e por tornar este sonho possível.

À Deus por todas as oportunidades e alegrias que vem me proporcionando.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
1. INTRODUÇÃO	17
Referências	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. Herbicidas auxínicos.....	21
2.2. Formulações de dicamba	25
2.3. Misturas em tanque com dicamba	26
2.4. Tipos de deriva.....	27
2.5. Técnicas para redução da deriva (TRD).....	28
2.6. Tecnologia de aplicação.....	30
2.7. Adjuvantes: agentes de controle de deriva	31
Referências	33
3. ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DE FORMULAÇÕES DE DICAMBA COM GLIFOSATO SAL DE POTÁSSIO, ADJUVANTES, PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E PRESSÃO DE TRABALHO	37
Resumo.....	37
Abstract	37
3.1. Introdução	38
3.2. Material e Métodos.....	39
3.3. Resultados e Discussão.....	42
3.4. Conclusão	56
Referências	57
4. VOLATILIZAÇÃO DE DICAMBA ISOLADO E EM MISTURA COM FORMULAÇÕES DE GLIFOSATO EM CONDIÇÕES DE CAMPO	59
Resumo.....	59
Abstract	59
4.1. Introdução	60

4.2. Material e Métodos	61
4.3. Resultados e Discussão	67
4.4. Conclusão.....	79
Referências.....	79

RESUMO

Volatilização e espectro de gotas do dicamba influenciada por diferentes formulações, adjuvantes e sais de glifosato

Plantas daninhas continuam a evoluir resistência ao uso prolongado e intensivo de herbicidas, resultando em perdas econômicas na produção agrícola. Entretanto, para a maioria das espécies, a evolução de resistência a dicamba e outros herbicidas auxínicos têm evoluído mais lentamente. Como as opções de herbicidas pós-emergentes são limitadas, a utilização de dicamba em pós-emergência, em mistura com outros herbicidas com mecanismos de ação distintos, pode auxiliar no manejo de plantas daninhas de folha larga com histórico de resistência, como, por exemplo, buva (*Coryza spp.*), caruru (*Amaranthus spp.*) e picão preto (*Bidens pilosa*); assim como reduzir, e prevenir, a evolução de resistência. A liberação de cultivares de soja e algodão resistentes ao dicamba se iniciou nos Estados Unidos, em 2016 e, dois anos depois cerca de 41% do total de área cultivada com soja foi semeada com soja resistente, e 70% de algodão em 2019. Neste mesmo ano, três formulações de dicamba foram aprovadas com o objetivo de reduzir os danos provocados pela deriva. Herbicidas auxínicos têm sido historicamente associados à volatilidade e movimento de gotas para plantas adjacentes, resultando em injúria e, conseqüentemente, redução de produtividade. Para minimizar esses problemas, técnicas foram desenvolvidas, em conjunto com a introdução de novas formulações, como a adição de adjuvantes redutores de deriva à calda de pulverização, o uso de pontas com indução de ar, e estudo de misturas em tanque. O objetivo desse trabalho foi avaliar o tamanho de gotas para diferentes formulações de dicamba, sal diglicolamina e N,N-Bis(3-aminopropil)metilamina (DGA e BAPMA), com pontas de indução de ar (TTI, ULD e ULDMax), em duas pressões de trabalho (3 e 5 BAR); e analisar a volatilização de dicamba em campo em plantas de soja sensível ao dicamba, sob estrutura de polietileno. Os tratamentos incluíram dicamba e misturas com diferentes sais de glifosato e adjuvantes (Mees e Fluifex). Interações significativas foram observadas entre ponta, pressão e soluções herbicidas para a variável espectro de gotas, sendo que maiores tamanhos de gotas e menores porcentagens de volume de gotas com diâmetro menor que 150 μm (V150) foram observados para a ponta ULDMax, seguida pela ponta TTI. A ponta ULDMax ainda apresentou maior uniformidade de distribuição do tamanho de gotas (SPAN). As formulações de dicamba apresentaram tamanho de gotas semelhantes, variando em função das combinações de ponta, pressão e solução aplicada. Dessa maneira, é fundamental entender o efeito das misturas em tanque, e das diversas técnicas de redução de deriva (TRD). A pressão de 5 Bar apresentou aumento das gotas finas deriváveis para todas as pontas, quando comparado com a pressão de 3 Bar. Com relação à volatilização, injúrias mais severas foram encontradas aos 14 dias após aplicação (DAT). Maiores danos foram observados nos tratamentos de dicamba isolado e dicamba em mistura com glifosato sal de amônio. As misturas de dicamba com glifosato sal de di-amônio e glifosato sal de isopropilamina, ambos com VaporGrip®, apresentaram os menores valores de injúria na cultura da soja. No geral, a adição do adjuvante VaporGrip® reduziu a volatilização de dicamba. Mesmo com os danos causados pela volatilização do dicamba, não foi encontrado diferença estatística na produtividade.

Palavras-chave: Dicamba, Volatilização, Espectro de gotas, Mistura em tanque

ABSTRACT

Volatilization and droplet spectrum of dicamba influenced by different formulations, adjuvants and glyphosate salts

Weeds continue to evolve resistance due to the prolonged and intensive use of herbicides, resulting in yield losses. However, for most species the development of resistance to dicamba and to other auxinic herbicides has evolved more slowly. As the options of post-emergence herbicides program are limited, the use of dicamba over the top combined with other mechanisms of action's herbicides, would improve the management of broadleaf weeds with a history of resistance, such as hairy fleabane (*Conyza* spp.), pigweed (*Amaranthus* spp.) and hairy beggarticks (*Bidens pilosa*), as well as reducing and preventing the evolution of herbicide resistance. The release of dicamba-tolerant soybean and cotton occurred in the United States in 2016 and, two years later, about 41% of the total soybean area was sown with tolerant soybean; and 70% of cotton in 2019. In the same year, three formulations of dicamba were approved for topical use in cotton and soybean, with the aim to reducing the damage caused by drift. Auxinic herbicides have historically been associated with volatilization and off-target movement to adjacent sensitive plant species, resulting in damage and productivity losses. To minimize drift, techniques were developed, together with the introduction of new formulations, such as the addition of drift-reducing adjuvant in the spray mixture, the use of air induction nozzles, and the study of tank-mixtures. The goal of this work was to evaluate the droplet spectrum of different dicamba formulations, diglycolamine and N,N-Bis-(3-aminopropyl) methylamine salt (DGA and BAPMA), using air induction nozzles (TTI, ULD and ULDMax) at two working pressures (3 and 5 BAR); and to analyze the field volatilization of dicamba into non-DR soybean as a bio-indicator under a polyethylene structure (hoop house). Treatments included dicamba and several mixtures with different glyphosate salts and adjuvants (Mees and Fluifex 0,1%). Significant interactions were observed among nozzles, working pressure and herbicide solutions for droplet spectrum. Larger droplet sizes and smaller percentages of driftable droplets (V150) were observed for the ULDMax nozzle, followed by the TTI nozzle. The ULDMax also showed the greater droplet size distribution uniformity (SPAN). Similar droplets sizes were observed among the herbicide solutions, varying with the interactions of nozzle, pressure and tank-mixture. Therefore, it is fundamental to study the effect of each tank-mixture, and the adoption of drift reduction techniques (DRT). It was observed an increase in the percentage of driftable droplets for all spray nozzles with the working pressure increasing to 5 bar, when compared to the 3 bar pressure. Regarding the volatilization, more severe injuries were observed at 14 days after application (DAT). Greater damage was observed in the treatments with dicamba alone and dicamba mixed with glyphosate ammonium salt. The mixtures of dicamba with glyphosate di-ammonium and isopropylamine salts formulation, both with VaporGrip®, resulted in lower injury values. Overall, the addition of VaporGrip® reduced the dicamba volatilization. Although injury to soybean was observed, there was no statistical difference in yield.

Keywords: Dicamba, Volatilization, Droplet spectrum, Tank-mixture

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. VaporGrip. No tanque de pulverização existe o potencial de formação do dicamba ácido (DCH) em solução e, conseqüentemente, a ocorrência de deriva através de volatilização após aplicação. Quando adicionado ao tanque, o VaporGrip® reduz a formação de DCH, minimizando o potencial de volatilização. 32
- Figura 2. (A) Esquema da leitura do tamanho de gotas através do aparelho SprayTec 10K da Malvern Panalytical. Adaptado de Z. Y. Han et al., 2013, Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze. doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0560>. (B) Câmara de aplicação localizada no laboratório de tecnologia de aplicação da BASF, em Santo Antonio da Posse - SP..... 40
- Figura 3. Diâmetro médio volumétrico (DMV), em μm , produzido por diferentes pontas em aplicações de dicamba sozinho e em mistura com glifosato e adjuvantes redutores de deriva, em duas pressões de trabalho, 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$ 44
- Figura 4. Porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150), em decimais, produzida por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes, nas pressões de 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$ 49
- Figura 5. Coeficiente de uniformidade (SPAN) produzido por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes, nas pressões de 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$ 54
- Figura 6. Relação entre DMV e SPAN nas diferentes pontas, soluções herbicidas e pressões. O gráfico de barras representa os valores do DMV e o de linhas o SPAN..... 56
- Figura 7. Posicionamento das estufas de polietileno a campo, logo após a aplicação nas bandejas. 64
- Figura 8. Croqui da área com distribuição aleatória das parcelas experimentais a campo. 64
- Figura 9. Esquema ilustrativo da avaliação de injúria, realizada a cada 20 cm da bandeja, até uma distância máxima de 3 metros. 66
- Figura 10. Gráfico com o índice de fitotoxicidade na soja, de acordo com as notas proposta pelo European Weed Research Council (EWRC) e adaptadas por Melhorança (1984). Quanto maior a largura do gráfico maior a incidência de notas para o determinado tratamento..... 68
- Figura 11. Sintoma de “leaf cupping” encontrado nas plantas de soja, como resultado da volatilização de dicamba..... 69

Figura 12. Gráfico de barras correlacionando as notas de fitotoxicidade (EWRC adaptada por Melhorança, 1984) com a distância de aplicação para os tratamentos aos 14 (A) e 28 DAT (B).. 71

Figura 13. Sintoma de epinastia das plantas mais próximas ao local de aplicação (faixa de 0-20 cm), nota sete de acordo com a escala de fitotoxicidade de EWRC adaptada por Melhorança (1984)..... 72

Figura 14. Curva de injúria representada pelas notas de fitotoxicidade em função das diferentes distâncias de avaliação para cada tratamento, aos 14 e 28 DAT. Cada curva possui uma cor que representa seu respectivo tratamento. 73

Figura 15. Curva das notas de fitotoxicidade relacionados às diferentes distâncias de avaliação para o tratamento Dicamba (DGA), aos 14 DAT. A faixa vermelha corresponde à área de 300 cm² do tratamento controle, que foi subtraída do valor de área total..... 73

Figura 16. Gráfico da AACF para os tratamentos, em cm², aos 14 e 28 DAT. A faixa vermelha corresponde a área de 300 cm² do tratamento controle, que foi subtraída do valor total de área em cada tratamento. 74

Figura 17. Valores das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), representados em forma de barras horizontais com suas médias e intervalo de confiança, aos 14 DAT, em m². 76

Figura 18. Valores das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), representados em forma de barras horizontais com suas médias e intervalo de confiança, aos 28 DAT, em m². 76

Figura 19. Gráfico de barra com a média e o intervalo de confiança para a produtividade da soja em kg/ha aos 120 dias. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição da formulação, nome comercial e registro para aplicação e pós-emergência dos principais herbicidas a base de dicamba disponíveis no mercado.	26
Tabela 2. Nome comercial, ingrediente ativo, dose aplicada, formulação e concentração dos herbicidas utilizados no trabalho.	41
Tabela 3. Descrição das pontas utilizadas e suas respectivas características, fabricantes e classificação da ASABE/ANSI de acordo com as pressões de trabalho. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.	41
Tabela 4. Relação de ingrediente ativo, nome comercial, fabricante e concentração de cada adjuvante utilizado.	41
Tabela 5. Lista dos tratamentos utilizados, compostos por nove soluções herbicida, três pontas com indução de ar e duas pressões de trabalho. Submetidos a leitura do Spraytec Malvern um analisador de partículas de difração a laser.	42
Tabela 6. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para o DMV (Dv50).	43
Tabela 7. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do diâmetro médio volumétrico (DMV)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.	45
Tabela 8. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do diâmetro médio volumétrico (DMV)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.	46
Tabela 9. Classificação de tamanho de gotas de acordo com a ASABE S572.2 para as soluções herbicidas, nas três pontas com a pressão de três bar. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.	47
Tabela 10. Classificação de tamanho de gotas de acordo com a ASABE S572.2 para as soluções herbicidas, nas três pontas com a pressão de cinco bar. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.	47
Tabela 11. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para gotas finas deriváveis $\leq 150\mu\text{m}$ (V150).	48
Tabela 12. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” de gotas finas deriváveis (V150)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.	51
Tabela 13. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” de gotas finas deriváveis (V150)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.	52

Tabela 14. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para o SPAN.	53
Tabela 15. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do coeficiente de uniformidade (SPAN)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.	55
Tabela 16. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do coeficiente de uniformidade (SPAN)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.	55
Tabela 17. Lista dos tratamentos com suas respectivas soluções herbicida, siglas, doses e concentração de VaporGrip® utilizados em mistura.	62
Tabela 18. Descrição dos herbicidas, nomes comerciais, fabricantes e concentrações em equivalente ácido utilizados no trabalho.	62
Tabela 19. Características físico-químicas do solo utilizado na bandeja que recebeu aplicação dos tratamentos para o ensaio de volatilização de dicamba.	63
Tabela 20. Dados meteorológicos do período de realização do ensaio de soja com aplicação de dicamba, no local do ensaio, na cidade de Santa Bárbara D’Oeste-SP *.....	65
Tabela 21. Escala de notas de fitotoxicidade proposta pela EWRC (1964), e adaptada por Melhorança (1984)	65
Tabela 22. Comparação de médias para os valores de fitotoxicidade na soja aos 14 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”	67
Tabela 23. Comparação de médias para os valores de fitotoxicidade na soja aos 28 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”	69
Tabela 24. Comparação de médias das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF) aos 14 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”	75
Tabela 25. Comparação de médias das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF) aos 28 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”	77
Tabela 26. Comparação de médias para os valores de produtividade de soja, aos 120 dias após o plantio, através do teste de Fisher “Least Square Means”	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Ácido indolacético
DMA	Sal de dimetilamina
DGA	Dicamba sal diglicolamina
BAPMA	Dicamba sal N,N-Bis(3-aminopropil)metilamina
IPA	Sal de isopropilamina
ALS	Acetolactato sintase
EPSPs	5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase
PPO	Protoporfirinogênio oxidase
VG	VaporGrip®
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
EUA	Estados Unidos da América
DAT	Dias após tratamento
EPA	Environmental Protection Agency –Agência de Proteção Ambiental
ERS	United States Department of Agriculture, Economic Research Service
USDA	United States Department of Agriculture
DMO	Monooxigenase dicamba
TRD	Técnicas de Redução de Deriva
TII	Turbo TeeJet Induction
ULD	Ultra Low Drift
ULDMax	Ultra Low Drift Max
2,4-D	Ácido diclorofenoxiacético
DMV/Dv50	Diâmetro Médio Volumétrico
Dv10	Diâmetro de 10% do volume acumulado
Dv90	Diâmetro de 90% do volume acumulado
SPAN	Amplitude Relativa ou Coeficiente de uniformidade
V150	Porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm
AACF	Área abaixo da curva de fitotoxicidade

1. INTRODUÇÃO

Os casos de resistência de plantas daninhas vêm crescendo significativamente em todo o mundo. Até o momento, foi relatada resistência para 164 herbicidas, somando 263 espécies diferentes de plantas daninhas (HEAP, 2021). O uso prolongado de herbicidas dos grupos 2 e 9, que correspondem aos herbicidas inibidores de ALS (acetolactato sintase) e EPSPs (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase), respectivamente, resultaram na seleção de espécies com resistência múltipla, tais como buva (*Conyza spp.*), picão preto (*Bidens pilosa*) e caruru (*Amaranthus spp.*) (EPA, 2020).

Uma opção para o manejo de plantas daninhas da classe das folhas largas é o uso do herbicida dicamba, aplicado em condições de pós-emergência da planta daninha. Isso é possível devido ao desenvolvimento de cultivares de soja, algodão e milho transgênicos, resistentes ao dicamba. Além de promover o controle efetivo e reduzir as perdas de produtividade, esse sistema também prolonga a eficácia das opções de controle químico atualmente disponíveis. A resistência para dicamba e outros herbicidas auxínicos evolui mais lentamente, quando comparada a outros mecanismos de ação, para a maioria das espécies de plantas daninhas (HEAP, 2018). Desde a introdução do 2,4-D, em meados de 1940, até atualmente, a resistência a essa classe de herbicidas foi reportada em 41 espécies, com o primeiro relato em 1957 (TODD et al., 2020).

Variedades resistentes a herbicidas vêm sendo utilizadas desde 2017 nos Estados Unidos da América do Norte, como uma ferramenta auxiliar de controle de plantas daninhas como o caruru palmeri (*Amaranthus palmeri*) (WERLE et al. 2018). Essa espécie tem sido considerada quarentenária no Brasil, relatada pela primeira vez em 2015 no estado do Mato Grosso (CARVALHO et al., 2015; GAZZIERO; ADEGAS, 2016). Com a introdução de cultivares resistentes a dicamba nos Estados Unidos da América do Norte, houve paralelamente um aumento significativo do número de relatos de injúria para culturas. Associada principalmente a altas temperaturas, a deriva é um problema importante em condições tropicais e por isso, esse sistema de aplicação de dicamba em pós-emergência precisa ser estudado.

Assim como outros herbicidas, os herbicidas auxínicos têm potencial de deriva para áreas vizinhas, causando fitotoxicidade em culturas sensíveis. Entretanto, além do movimento primário, o dicamba em sua forma ácida continua se movimentando após a aplicação, através de volatilização, podendo ocorrer várias horas após a aplicação (JONES et al., 2019). Além disso, a injúria em culturas sensíveis ocorre com o uso de doses muito baixas, comparado a outros herbicidas, sendo reportado dano em soja sensível em taxas de aplicação tão baixas quanto 1/20.000 da dose de bula (0,028 g de ácido equivalente [e.a.] ha⁻¹), provocando danos visuais e redução de altura (SOLOMON; BRADLEY, 2014).

Para reduzir os danos provocados pela volatilização de dicamba e, portanto, viabilizar a adoção do sistema de aplicação em pós-emergência, novas formulações foram desenvolvidas. Uma delas, uma forma antiga de dicamba, ligado ao sal diglicolamina (DGA), em conjunto com VaporGrip®, e a outra com o dicamba associado ao sal N,N-bis-(3-aminopropil)metil-amina (BAPMA). O VaporGrip® é um tampão de ácido acético que elimina prótons livres na solução de pulverização (ABRAHAM, 2018). Diversos estudos em humidome demonstraram que as duas formulações sofrem menos volatilidade do que as formulações anteriores (MACINNES, 2016; WESTBERG; ADAMS, 2017).

Contudo, componentes normalmente adicionados à solução de pulverização, como glifosato e adjuvantes redutores de deriva podem alterar as características físico-químicas da solução. Estudos comprovam que a adição de glifosato reduz o pH da solução e aumenta a concentração de dicamba detectada no ar (BISH et al., 2019), podendo resultar em aumento de 3 a 9 vezes, com uma diminuição ocorrendo apenas em temperaturas abaixo de 15°C (MUELLER; STECKEL, 2019). Reduções de até duas unidades no pH foram observadas quando o sulfato de amônio foi adicionado à mistura em tanque (FERREIRA et al., 2020).

Além das misturas em tanque, outros fatores, como condições ambientais durante a aplicação, superfície aplicada, e tipo de ponta, influenciam na volatilidade de dicamba. Entre os fatores ambientais, temperatura e velocidade do ar são os mais importantes. Em aplicações em condições de massa de ar estável, como observado durante inversão térmica, as partículas permanecem suspensas na atmosfera e ficam passíveis ao movimento secundário. Aplicações feitas em condições estáveis de atmosfera resultaram em concentrações de dicamba até três vezes maiores quando comparadas à aplicação feita sob atmosfera instável, sendo que as novas formulações de dicamba podem sofrer volatilização por até 72 horas após aplicação (BISH et al., 2019). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) analisou os dados de temperatura máxima no dia que cada incidente de injúria de dicamba foi relatado, e determinou que mais de 94% e 82% dos incidentes ocorreram em temperaturas acima de 23,9°C e 26,7°C, respectivamente.

O tipo de ponta e o espectro de gotas para cada mistura aprovada com dicamba é fundamental, sabendo que a geração de gotas finas e muito finas (< 150 µm – V150) está diretamente associada ao potencial de deriva. Contudo, gotas com diâmetros maiores podem resultar em menor eficácia de controle, e alguns estudos demonstraram que o tamanho de gota de 395 µm alcançou melhor controle de plantas daninhas do que outros tamanhos de gota, mas que potencializam a deriva; por isso, tamanhos de gota maiores, próximos a 620 µm, foram recomendados, mantendo o controle acima de 90% (BUTTS, 2019).

O objetivo deste trabalho foi estudar a deriva de dicamba através do espectro de gotas e volatilização, em soja sensível, assim como as variáveis que podem influenciar na redução da deriva, e conseqüentemente, no risco de injúria em culturas sensíveis adjacentes. Dessa maneira, foram estudadas diferentes pontas com indução de ar (TTI, ULD e ULDMax), recomendadas para aplicação de herbicidas auxínicos, misturas de calda com diferentes formulações de glifosato, adição de adjuvantes redutores de deriva (Mees e Fluiflex), e diferentes pressões de trabalho.

Referências

- ABRAHAM, W. **The chemistry behind low-volatility dicamba** (2018). Bulletin. Monsanto Co., Chesterfield, MO. Disponível em: https://monsanto.com/app/uploads/2018/07/Chemistry-Behind-Low-Vol-Dicamba_Abraham.pdf. Acessado em: 6 Maio 2021.
- BISH, M. D.; FARRELL, S. T.; LERCH, R. N.; BRADLEY, K. W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions (2019). **J. Environ. Qual.** doi:10.2134/jeq2019.05.0197.
- BUTTS, T. R. Droplet size impact on efficacy of a dicamba-plus-glyphosate mixture (2019). **Weed Technol.** 33, 66–74.
- CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLLAI, M.; CAVENAGHI, A. L.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. CHRISTOFFOLETI, P. J. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. (2015) **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 579-586.
- EPA. **Memorandum supporting decision to approve registration for the uses of dicamba on dicamba tolerant cotton and soybean** (2020). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/dicamba-decision_10-27-2020.pdf. Acessado em: 02 Jun 2021.
- FERREIRA, P.H.U., THIESEN, L.V., PELEGRINI, G. et al. Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture (2020). **Sci Rep** 10, 18833. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75996-5>.
- GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S. *Amaranthus palmeri* no Brasil. Londrina: Embrapa Soja (2016). **Embrapa Soja**. Comunicado Técnico, 88, 4 p.
- HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database** (2021). Disponível em: <http://www.weedscience.org> Acessado em 25 Junho 2021.
- HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds** (2018). Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em 20 Junho 2019.

- JONES G.T, NORSWORTHY J.K.; BARBER T. GBUR E.; KRUGER, G.R. Off-target movement of DGA and BAPMA Dicamba to Sensitive soybean (2019). **Weed Technol.** 33:51–65. doi: 10.1017/wet.2018.121.
- MACINNES, A. Vaporgrip® technology: how it works and its benefits (2016). **Paper presented at the 71st Annual Meeting of the North Central Weed Science Society**, Des Moines IA. 12–15 Dec. 2016.
- MANDY D. BISH, M. D., FARRELL, S. T., LERCH, R. N., BRADLEY, K. W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions (2019). **J. Environ. Qual.** 48:1675–1682 (2019) doi:10.2134/jeq2019.05.0197.
- MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment (2019). **Weed Technol.** 33, 541–546.
- SOLOMON, C.B.; K.W. BRADLEY. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean (2014). **Weed Technol.** 28:454–464. doi:10.1614/WT-D-13-00145.1.
- TODD, O. E., FIGUEIREDO, M. R. A., MORRAN, S., SONI, N., PRESTON, C., KUBES, M. F., NAPIER, R., GAINES, T.A. Synthetic auxin herbicides: finding the lock and key to weed resistance (2020). **Plant Science**, Volume 300, 2020, 110631, ISSN 0168-9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110631>.
- USDA. United States Department of Agriculture, Economic Research Service (2020). **Special tabulation, based on the agricultural resources management survey: crop production practices data.** Compiled by Dodson, Laura.
- WERLE, R. et al. Survey of Nebraska farmers adoption of dicamba-resistant soybean technology and dicamba off-target movement (2018). **Weed Technol.** 32, 754–761.
- WESTBERG, D.E.; ADAMS, A. Application stewardship of engenia herbicide in dicamba tolerant crops (2017). In: **Proceedings of the Southern Weed Science Society 70th Annual Meeting**, Birmingham, AL. 23–26 Jan. 2017. Southern Weed Sci. Soc., Westminster, CO. p. 155.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Herbicidas auxínicos

Herbicidas auxínicos sintéticos, ou herbicidas reguladores de crescimento, são uma classe de herbicidas que se assemelham estruturalmente, e mimetizam a atividade do hormônio vegetal auxina (ácido indolacético, AIA). Nas plantas, a auxina tem papel importante na divisão e alongamento celular. Nas plantas daninhas, o efeito ocorre de maneira similar, entretanto o emprego de doses elevadas resulta no crescimento anormal, e o sintoma característico é o desenvolvimento de ramos torcidos e epinastia, evoluindo para a morte da planta.

A anormalidade é resultado do aumento da plasticidade celular em função da indução do movimento de prótons para fora da célula através da bomba de prótons da ATPase. Esse movimento de prótons altera o pH da célula, aumentando a atividade de enzimas que promovem alongação celular. Além disso, ocorre aumento da produção de RNA, DNA e síntese de proteínas (Marchi, 2008).

Esses herbicidas são utilizados em pós-emergência para o controle seletivo de plantas daninhas de folhas largas em culturas de gramíneas e pastagens; com exceção do Quinclorac, que tem atividade herbicida em gramíneas. A maioria é prontamente absorvido, tanto pelas raízes quanto folhas, e translocados via xilema e floema. A seletividade ocorre por absorção e translocação diferencial, sendo o movimento em gramíneas mais restrito; além de detoxificação e exsudação radicular (Marchi, 2008).

A introdução do primeiro herbicida auxínico sintético, o 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético), ocorreu em 1945. Ele foi o primeiro composto orgânico sintetizado pela indústria a ser utilizado como herbicida seletivo. A atividade do ácido benzoico foi descoberta na mesma década, em meados de 1940, com o herbicida dicamba descrito pela primeira vez em 1958, e sequente aprovação para uso liberada nos Estados Unidos quatro anos depois (HARTZLER, 2017).

Os herbicidas auxínicos têm potencial de deriva para áreas vizinhas, assim como outros herbicidas, causando fitotoxicidade em culturas sensíveis. Em relação às características físico-químicas, o dicamba apresenta alta pressão de vapor ($3,3 \times 10^{-5}$ mm Hg), sendo considerado um ácido fraco. Quando em contato com a água, ele reage com átomos de hidrogênio adquirindo o caráter ácido, o que facilita a sua perda para o ambiente na forma de gás (CHRISTOFFOLETI et al., 2015).

Dessa forma, o dicamba continua se movimentando após a aplicação, através de volatilização, ou também chamado, movimento secundário. Esse movimento pode ocorrer várias

horas após a aplicação, havendo reportes de volatilização do sal na forma de sal de dimetilamina (DMA) até três dias após a aplicação (JONES et al., 2019). A volatilização é dependente das condições climáticas, como temperatura, umidade relativa e vento, podendo provocar injúria em até 293 metros da área de aplicação (SOLTANI et al., 2020).

Além da fitotoxicidade em culturas sensíveis, a deriva reduz a eficácia do controle químico, uma vez que menos produto é depositado e absorvido pelas plantas. Isso, muitas vezes, é compensando pelo aumento da dosagem dos produtos, o que eleva os custos de produção e aumenta a pressão de seleção para biótipos resistentes (FERREIRA et al., 2008).

A alta sensibilidade da soja à volatilidade de dicamba tem sido um problema desde sua introdução. Sabe-se que mesmo em concentrações baixas, de 0,08 g e.a ha⁻¹, a deriva de herbicidas auxínicos pode resultar em perdas quantitativas e qualitativas na produção de culturas sensíveis de em áreas adjacentes (WEIDENHAMER et al., 1989).

Para reduzir a deriva, formulações foram desenvolvidas ao longo dos anos, com uma ampla variação na volatilidade alcançada entre os diferentes sais de dicamba. O primeiro herbicida dicamba, Banvel, continha o sal de dimetilamonio do ácido original. Formulações de baixa volatilidade incluem Banvel II (sódio), introduzido em 1981, Clarity (diglicolamina) em 1990 e, mais recentemente, Xtendimax®/Fexapan® com VaporGrip® Technology (diglicolamina) e Engenia® (BAPMA) (HARTZLER, 2017).

Até 2016, o herbicida dicamba obtinha registro apenas para aplicações de pré-plantio e dessecação de soja. Contudo, no mesmo ano, a EPA aprovou também o uso em pós emergência para três produtos de dicamba (Engenia®, XtendiMax®, FeXapan®), em soja e algodão resistentes. Em 2019, a EPA registrou outro produto contendo a associação de dicamba e s-metolacoloro (Tavium) para uso em pós-emergência em algodão e soja resistentes (EPA, 2019). Em razão dessas aprovações, diversos estudos de deriva foram conduzidos em cultivares sensíveis de soja para duas formulações de dicamba, diglicolamina (DGA) e N,N-Bis(3-aminopropil)metilamina (BAPMA) (JONES et al., 2019).

Cultivares resistentes aos herbicidas auxínicos (milho, algodão e soja) foram desenvolvidos para fornecer um mecanismo de controle químico adicional, além de ajudar no controle e mitigação da evolução de plantas daninhas resistentes. Os problemas crescentes com plantas daninhas resistentes a herbicidas resultaram no aumento no uso de dicamba, e a adoção de cultivares resistente a dicamba continuará esta tendência.

Esse sistema de aplicação pós-emergente de dicamba foi criado para o manejo de populações de plantas daninhas com resistência a EPSPs, herbicidas inibidores de ALS, e herbicidas inibidores de PPO (EPA, 2020). Apesar de um espectro de controle menor quando

comparado ao glifosato, dicamba promove controle satisfatório de plantas daninhas resistentes ao glifosato nas culturas de algodão e soja, incluindo buva (*Conyza canadensis* (L.) Cronq.) e *Ambrosia trifida* L. (KRUGER, et al., 2010; VINK et al., 2012). Esse sítio de ação alternativo é importante para o manejo dessas populações resistentes.

Existem programas alternativos disponíveis para o controle de plantas daninhas de folha larga problemáticas, no entanto, o número de opções de herbicidas pós-emergentes é muito limitado; portanto, os produtores de soja e algodão resistentes ao dicamba se beneficiam desse registro. O registro de dicamba em algodão, soja e milho resistentes dará aos produtores flexibilidade adicional para manejar populações de plantas daninhas resistentes a herbicidas, prolongando assim a eficácia das opções de controle atualmente disponíveis para espécies de plantas daninhas resistentes (Environmental Protection Agency - EPA, 2020).

Os cultivares resistentes ao dicamba foram gerados através da inserção de um gene proveniente de um microrganismo de solo chamado *Stenotrophomonas maltophilia*. Este gene codifica a monooxigenase dicamba (DMO), que promove a desmetilação do dicamba para ácido 3,6-diclorossalicílico, conferindo alta resistência em ambas as dicotiledôneas: algodão e soja; e monocotiledôneas: milho (DUKE et al., 2014).

Além das cultivares resistentes ao dicamba, cultivares de soja e algodão com tecnologia Enlist, que são resistentes aos herbicidas 2,4-D colina, glifosato e glufosinato, também foram disponibilizados recentemente para uso nos Estados Unidos. A verticalização desses modos de ação irá possibilitar um manejo de plantas daninhas resistentes de maneira ainda mais flexível e eficiente.

Os herbicidas auxínicos sintéticos são considerados de baixo risco para a seleção de plantas daninhas resistentes. Contudo, o uso contínuo, sem rotação adequada com outros modos de ação, e estratégias não químicas, pode resultar na seleção de indivíduos resistentes. Desde a introdução do 2,4-D, em meados de 1940, até atualmente, a resistência a essa classe de herbicidas foi reportada em 41 espécies, com o primeiro relato em 1957 (GAINES et al., 2020). Entre as principais espécies importantes estão: kochia (*Bassia scoparia*), caruru (*Amaranthus palmeri*) e buva (*Conyza sumatrensis*), sendo estas duas últimas reportadas no Brasil.

Entretanto, considerando o tempo de uso, o número de ocorrência de plantas resistentes aos herbicidas auxínicos é pequeno em comparação com os outros modos de ação. Esse fato pode ser explicado pelos potenciais sítios múltiplos de ação do herbicida, a poucos casos de resistência conferida por genes recessivos, que tendem a se espalhar mais lentamente do que um traço dominante; e a redução da adaptabilidade desses fenótipos resistentes na ausência do herbicida e em competição com as culturas (BUSI et al, 2017).

A rápida adoção da tecnologia, e crescimento da área plantada com cultivares resistentes nos Estados Unidos, reflete a necessidade de controle de plantas daninhas resistentes, e mitigação das perdas econômicas. Segundo a ERS (“United States Department of Agriculture, Economic Research Service”), a taxa de adoção de soja resistentes em 2018 era de 41%, enquanto algodão resistente chegou a 70% da área plantada, em 2019. Contudo, de acordo com a mesma agência, ainda que o plantio de soja ou algodão resistentes permita aplicação de dicamba em pós emergência, nem todos os produtores irão efetivamente aplicar dicamba. Em 2017 e 2018, os produtores usaram dicamba em 8% e 17% de todos os hectares de soja e algodão nos EUA antes da emergência da cultura, respectivamente, e em 17% e 34% de todos os hectares de soja e algodão após a emergência da cultura, respectivamente (United States Department of Agriculture - USDA, 2020).

A injúria provocada por aplicações de dicamba em culturas não alvo têm sido reportada extensivamente nos Estados Unidos nos últimos anos, com o número de reporte mais frequente após liberação do uso pós-emergente de dicamba em cultivares de soja e algodão resistentes ao dicamba, em 2017 (Bish et al., 2019). Relatos de injúria em vegetação sensível foram amplamente documentados nos Estados Unidos ao longo de 2018, 2019 e 2020, especialmente em áreas onde a adoção de cultivares resistentes de soja e algodão foi mais alta (BISH et al., 2020).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2020), foram reportados, em 2017, mais de 2700 casos oficiais de injúria provocada pelo uso de dicamba, área estimada em mais de 3,6 milhões de acres de soja, o que representa cerca de 4% do total de 90,2 milhões plantados em 2017. Segundo a agência, associações, indústria, fazendeiros e organizações não governamentais, as causas de injúria podem ser resultado do descumprimento das restrições de bula ou uso de uma formulação de dicamba antiga e, portanto, mais volátil; deriva de partícula, contaminação de tanque e volatilização. Os danos alegadamente relacionados às aplicações pós-emergentes de dicamba foram relatados não apenas para soja não resistentes, mas também para áreas vizinhas de pomares, vinhedos, amoras, melões, tomates e outras culturas vegetais. Contudo, de acordo com a EPA, o número de relatos tende a ser subnotificado, o que pode ser explicado pelo desejo dos produtores em manter um bom relacionamento entre vizinhos, medo de que a cultura seja considerada imprópria para venda, perda de certificação orgânica, etc.

A EPA ainda decorre sobre as medidas de proteção para o uso de dicamba em cultivares resistentes, como o tamanho da área tampão necessária (73 m), limite de duas aplicações pós-emergentes por ano, horários de pulverização de uma hora após o nascer do sol e duas horas antes do pôr do sol; assim como data máxima para pulverização (30 de junho para soja e, 30 de

julho para algodão), uso obrigatório de adjuvantes, obrigatoriedade de aprovação de misturas em tanque com agentes redutores de volatilização, etc.

As datas máximas para aplicação foram determinadas em função do efeito da temperatura na volatilidade. A EPA comparou os dados de temperatura máxima no dia de cada incidente relatado e determinou que mais de 94% e 82% dos incidentes ocorreram em temperaturas acima de 75°F (23,9°C) e 80°F (26,7°C), respectivamente, e juntamente com dados meteorológicos, determinou o intervalo de dias para os quais a temperatura se mantém abaixo desses valores (EPA, 2020).

A liberação de cultivares resistentes e a adoção desse sistema no Brasil estão sendo amplamente discutidos, assim como a necessidade de estudo científico para adaptar o sistema às condições tropicais. A adoção de aplicações em pós-emergência de dicamba para cultivares resistentes é justificada pela importância econômica da soja, milho e algodão no agronegócio, o que corresponde a 26,6% do PIB brasileiro (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada -CEPEA, 2020); e pelas perdas de produtividade associadas à ocorrência de espécies de plantas daninhas resistentes de difícil controle.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), foram produzidas 124,845 milhões de toneladas de soja, em 36,9 milhões de hectares, sendo o Brasil o maior produtor mundial de soja. De algodão, foram produzidas 3 milhões de toneladas de pluma em 1,6 milhões de hectares cultivados (Associação Brasileira dos Produtores de Algodão - ABRAPA, 2020), e 101,9 milhões de toneladas de milho em mais de milhões de hectares cultivados (CONAB, 2020).

2.2. Formulações de dicamba

Em paralelo ao desenvolvimento de cultivares resistentes ao dicamba, foram desenvolvidas também formulações menos voláteis de dicamba, uma delas com o sal de dicamba associado ao sal N,N-bis-(3-aminopropil)metil-amina (BAPMA); e a outra, uma forma antiga de dicamba ligado ao sal diglicolamina (DGA), em conjunto com VaporGrip® (DGA+VG) (MACINNES, 2016), um tampão de ácido acético que elimina prótons livres na solução (ABRAHAM, 2018). Em formulações mais antigas de dicamba, íons presentes em solução se combinam com íons de hidrogênio livres para formar o dicamba ácido volátil. As formulações disponíveis de dicamba estão descritas na Tabela 1.

Essas novas formulações de dicamba possuem menor pressão de vapor, o que significa uma transição mais lenta para a fase gasosa com a elevação da temperatura (BISH et al., 2020). O

tamanho do sal BAPMA e a força das ligações de hidrogênio reduzem a habilidade de dissociação desse sal e a liberação de prótons de hidrogênio, uma vez em solução (WESTBERG; ADAMS, 2017).

A pressão de vapor dos herbicidas auxínicos é, em geral, maior em relação a outros herbicidas comuns, e aumentos sutis na temperatura do ar podem resultar em uma transição mais rápida das moléculas da fase líquida para vapor (BISH et al., 2020). As formulações DGA+VG e BAPMA possuem pressão de vapor mais baixa comparado ao dicamba ácido; entretanto, ambas as formulações foram detectadas por até 72 h após a aplicação em estudos de amostragem de ar conduzidos 20 cm acima do dossel da soja, indicando que quantidades detectáveis dessas novas formulações estavam se volatilizando ao longo do tempo (BISH et al., 2019).

Embora a volatilidade das novas formulações foi reduzida, mudanças no pH da solução podem ocorrer uma vez que o sal de dicamba é misturado na solução de pulverização, aumentando a probabilidade de volatilização (BISH et al., 2019). Portanto, o pH da mistura é um fator diretamente relacionado com o seu comportamento e, conseqüentemente, com a volatilidade de dicamba em condições de campo.

De acordo com Mueller e Steckel. (2019), a adição de BAPMA em solução resulta no aumento de pH, enquanto a adição de DGA e VaporGrip® demonstrou comportamento diverso; e a adição de glifosato potássico sempre diminuiu o pH entre 1 e 2.1 unidades.

Tabela 1. Descrição da formulação, nome comercial e registro para aplicação e pós-emergência dos principais herbicidas a base de dicamba disponíveis no mercado.

Formas do sal dicamba	Nome comercial	Uso em pós-emergência
Ácido	Celius; Vision; Saddle-Up	Nenhum
Dimetilamina (DMA)	Banvel; EndRun; Cimarron Max	Nenhum
Sódio (Na)	Status; Rave; Overdrive; Rainvel Xtra*	Nenhum
Potássio (K)	Lawn 3iP Herbicide	Nenhum
Diglicolamina (DGA)	Clarity; DiFlexx; Clarifier; FeXapan; Tavium; XtendiMax; Atectra*; Xtendicam*	XtendiMax, Tavium, FeXapan
Bis aminopropil metilamina (BAPMA)	Engenia	Engenia

*Formulações registradas para uso no Brasil

2.3. Misturas em tanque com dicamba

Frequentemente, dicamba é aplicado em combinação com glifosato em mistura em tanque para melhorar a eficiência e aumentar o espectro de controle das plantas daninhas. Contudo, a adição de glifosato à mistura pode levar ao aumento da deriva (BISH et al., 2019). O aumento da volatilização de dicamba em mistura com glifosato é resultado da redução do pH da

solução, aumentando a presença do dicamba em sua forma ácida. Como o glifosato é um ácido fraco, ele pode doar íons de hidrogênio para outros compostos.

Assim como o dicamba, o glifosato também está disponível em diversas formulações, em função do tipo de sal, podendo ser: amônio, di-amônio, dimetilamina, potássico e isopropilamina. Quando o glifosato é formulado em um produto comercial, o íon hidrogênio no ácido original é substituído por um sal (íon) diferente. No entanto, os sais não têm impacto na atividade herbicida, uma vez que apenas o ácido atua no sítio ativo dentro da planta (TRAVOS et al., 2017).

Apesar de não ter propriedades herbicidas, os sais desempenham várias funções importantes. Em particular, a porção de sal do produto formulado pode permitir uma maior absorção do glifosato por possibilitar penetração mais eficaz na folha. É importante, ainda, mencionar que as formulações podem diferir no que diz respeito à quantidade de glifosato, devido aos diferentes pesos moleculares de cada sal e aos vários adjuvantes utilizados pelos fabricantes.

Em estudo de mistura em tanque de dois sais de glifosato, isopropilamina (IPA) e potássico (K), com dicamba, Mueller et al. (2019), concluíram que não houve diferença no pH final comparando os dois.

Dentre as restrições encontradas para uso de dicamba em pós emergência, estão as misturas aprovadas. De acordo com o fabricante, BAPMA (Engenia®/BASF) não deve ser misturado com os sais de glifosato isopropilamina (IPA) e dimetilamina (DMA), assim como sulfato de amônio e nitrato de amônio. O único sal de glifosato aprovado é o sal potássico. Ainda, o uso de um adjuvante tamponante de pH é obrigatório para todas as aplicações nesse sistema. O mesmo é observado para herbicida DGA+VG (Xtendimax®/BAYER).

A investigação das novas formulações de dicamba, assim como o estudo de mistura em tanque com glifosato e adjuvantes, é fundamental para compreender como a fitotoxicidade por dicamba pode ser reduzida em cenários de campo.

2.4. Tipos de deriva

Existem dois tipos de deriva, a primária e a secundária, classificadas em relação ao momento que elas ocorrem. A deriva primária corresponde ao movimento de partículas durante a aplicação, que pode ser ocasionada pelo vento, movimentação juntamente com poeira, contaminação de tanque, e pela combinação entre o sistema do equipamento de aplicação e condições meteorológicas. A deriva secundária ocorre após a aplicação, através de volatilização.

Outra classificação de deriva é referente ao local que ela ocorre, podendo ser endoderiva, quando a perda de calda aplicada ocorre dentro dos domínios da cultura (ex: gotas muito grossas passíveis de escorrimento para o solo); e exoderiva, quando a perda ocorre fora dos domínios da cultura (ex: gotas finas levadas por correntes de ar).

Os sistemas de aplicação envolvem os agitadores de calda, filtros, barras e bicos na barra de pulverização, sendo o tipo de ponta fundamental para redução da deriva primária. O potencial de deriva de um bico é medido através da estimativa da porcentagem de volume de gotas que possuem um diâmetro inferior a 150 microns, porque essas gotas pequenas estão mais sujeitas à movimentação com o vento (LEFEBVRE et al., 1989).

O jato de pulverização de uma ponta é formado pela atomização, sob pressão, de uma solução de defensivo agrícola em inúmeras gotas de diâmetros variados. A distribuição do tamanho dessas gotas é conhecida como espectro de gotas, que pode ser classificado em diferentes classes, variando de gotas extremamente finas a gotas ultra grossas (ASABE, 2013)

O espectro de gotas depende de cada solução, assim como o desempenho de cada ponta, o que torna difícil generalizar o potencial de deriva entre diferentes combinações. Dessa maneira, é importante investigar cada condição de aplicação individualmente.

2.5. Técnicas para redução da deriva (TRD)

Diferentes técnicas têm sido utilizadas para o estudo de deriva, como túneis de vento de alta e baixa velocidade, mensuração do espectro de gotas e estudos de deposição em campo utilizando coletores posicionados a favor do vento. O túnel de vento de baixa velocidade simula aplicações terrestres, enquanto túnel de alta velocidade simula aplicações aéreas. A mensuração do potencial de deriva a campo é difícil, porque as condições climáticas não podem ser controladas (velocidade e direção do vento, temperatura, umidade relativa), dificultando a repetibilidade dos resultados (MILLER et al., 2000; BUTLER et al., 2001).

A difração de laser analisa a distribuição do tamanho de partículas através da variação angular na intensidade da luz espalhada quando um feixe de laser passa através da amostra. As partículas grandes espalham a luz em ângulos pequenos em relação ao feixe de laser, enquanto as partículas pequenas espalham a luz em ângulos grandes. Os dados de intensidade de espalhamento angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de espalhamento (MALVERN, 1997). A informação é utilizada para calcular o Diâmetro Médio Volumétrico (DMV ou DV50), assim como Dv10 e Dv90; amplitude relativa ou

coeficiente de uniformidade (SPAN), e porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150).

O tamanho das gotas de pulverização é influenciado pelo tipo de ponta e formulações, variando ainda com a adição de adjuvantes. Ele pode ser medido em tempo real, utilizando um analisador de partículas. Os mais comuns são Malvern Spraytec (U.K.), Sympatec HELOS (Germany), e Oxford Laser (U.K.) (ZHANG et al., 2020).

A EPA desenvolveu um protocolo para verificação de tecnologias de redução de deriva (TRD) para aplicação de pesticidas, com o objetivo de fornecer para a indústria de tecnologia de aplicação um método padronizado para gerar dados de qualidade. A EPA pretende, com este protocolo, acelerar a aceitação e o uso de tecnologias de aplicação, que podem reduzir significativamente a deriva de pulverização e, assim, proporcionar benefícios aos aplicadores, ao público geral e ao meio ambiente.

As TRD, estão divididas em cinco categorias: (1) tipos de pontas; (2) modificações no pulverizador com assistência de entrega passiva (e.x: pulverizadores com proteção nos bicos); (3) modificações no pulverizador com assistência de entrega ativa (e.x: pulverizadores de ar assistido); (4) adjuvantes e formulações que modificam as propriedades físicas da calda, e (5) modificadores do ambiente, como uso barreiras físicas (EPA, 2016)

Em uma aplicação ideal, todo o pesticida pulverizado deveria atingir o alvo desejado. Entretanto, isso não ocorre na prática, e o produto também atinge áreas consideradas não alvos. A deriva pode contaminar lençóis freáticos, causar poluição na superfície; além dos danos provocados em culturas sensíveis, com consequente perda de produtividade.

A escolha da técnica mais adequada é definida em função do tamanho de gota desejado e taxa de aplicação, considerando, ainda, o alvo a ser atingido, momento da aplicação, condições climáticas, parâmetros operacionais e recomendações agrônômicas (ANTUNIASSI, 2013).

No que diz respeito às condições climáticas, recomenda-se temperaturas inferiores a 30°C, umidade relativa do ar acima de 55% e ventos variando entre 3 e 10 km/h (OZKAN, 1998). Aplicações na ausência de ventos não são recomendadas, pois existe a possibilidade de ocorrência de inversão térmica e corrente de ar convectiva, o que dificulta a deposição das gotas no alvo (Matthews, G. A., 2000).

Em aplicações em condições de massa de ar estável, como observado durante inversão térmica, as partículas permanecem suspensas na atmosfera e ficam passíveis ao movimento secundário. As inversões ocorrem quando o ar mais frio e denso permanece próximo à superfície da terra, não ocorrendo mistura de massas de ar e pouco ou nenhum vento vertical. Como

resultado, o ar se move apenas horizontalmente (BISH et al., 2020; THOSTENSON; ENZ, 2019).

Aplicações em temperaturas abaixo de 15°C devem ser evitadas, porque ocorre redução na atividade fisiológica das plantas, influenciando negativamente a absorção e translocação de herbicidas que apresentam um grau de instabilidade física ou química (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

De acordo Bish et al. (2020), outros fatores que podem influenciar a volatilidade são a capacidade de absorção do pesticida e o pH do ambiente. A taxa de absorção afeta o tempo que o pesticida ficará disponível na superfície propenso a sofrer volatilização. Essa taxa de absorção é função das características morfológicas do alvo, como espessura da cutícula da folha e umidade relativa, que influencia a condutância estomatal (BISH et al., 2020). Segundo Oseland et al. (2020), aplicações de dicamba em pH de solo menores do que 6.8 estão mais sujeitas à perda por volatilização.

As condições operacionais correspondem as técnicas fundamentais à campo, ou seja, àquelas que dependem da tomada de decisão do aplicador, de acordo com a avaliação das condições mais seguras no momento da aplicação. Um elemento operacional passível de controle é o espectro de gotas, que pode ser alterado através da adição de adjuvantes na calda, e conforme as diferentes formulações; além da escolha de pontas, bicos e definição da pressão de trabalho. Pontas com um ângulo menor de aplicação resultam em gotas maiores; além disso, o uso de altura de barra mais baixo diminui a exposição das gotas até atingirem o alvo, contribuindo para a redução do potencial de deriva (MILLER et al., 2011). As principais variáveis utilizadas para analisar o espectro de gotas são: Diâmetro Médio Volumétrico (DMV), amplitude relativa (SPAN) e percentual do volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm e 100 μm (MATTHEWS, 2000).

2.6. Tecnologia de aplicação

Inúmeras tecnologias para redução de deriva estão disponíveis, como por exemplo, uso de pontas e adjuvantes específicos. Para que a pulverização seja eficiente é preciso, dentre outros fatores, escolher corretamente o tipo de ponta. Pontas que produzem gotas de Diâmetro Médio Volumétrico (DMV) maior, e menor porcentagem de volume de gotas inferiores a 150 μm , minimizam o potencial de deriva.

Pontas com indução de ar geram gotas com ar em seu interior, o que altera o comportamento e a estrutura do espectro de gotas. Elas fornecem gotas mais grossas, reduzindo

a deriva primária (MASIÁ; CID, 2010). Essas pontas possuem uma pré-câmara posicionada antes do orifício de saída da solução, fazendo com que o ar entre em contato com a solução e reduza sua velocidade (BOLLER; RAETANO, 2011).

O estudo de misturas em tanque com adjuvantes e pontas de pulverização é de extrema importância, pois cada combinação pode alterar o tamanho das gotas de maneira diferente; em especial ao usar pontas com indução de ar. Foi observado, por exemplo, que essas pontas não se comportam de forma semelhante às convencionais no que diz respeito à formação de gotas, e que a indução de ar para essas pontas varia de acordo com as propriedades da mistura em tanque (FERREIRA et al., 2020).

As pontas com tecnologia de indução de ar TTI (Turbo TeeJet Induction, TeeJet®) e as pontas Ultra Low Drift e Ultra Low Drift Max (ULD e ULDMax, Hypro®) são recomendadas para situações favoráveis à ocorrência de deriva. A pressão de operação para a ponta TTI é de pelo menos 3 bar (45 PSI), quando o controle de deriva é crítico, mas pressões maiores, de 4-7 e até mesmo 8 bar podem ser utilizadas para maior ênfase ao efeito químico (TEEJET, 2021).

As pontas ULD e ULDMax são recomendadas para redução de deriva para uso em pós-emergência e produtos de amplo espectro, e aprovadas para uso dos herbicidas 2,4-D e dicamba. Com um ângulo de pulverização maior, de 120° e 130°, respectivamente, a pulverização pode ser realizada com altura de barra mais baixa, além de operar em uma ampla faixa de pressões mantendo o tamanho de gota consistente para maior flexibilidade durante a aplicação (PENTAIR, 2020).

Dessa forma, estudos com misturas em tanque e bicos de pulverização são extremamente importantes para melhor compreender e prever o comportamento do herbicida dicamba no meio ambiente. Além das combinações de ponta e pressão de pulverização, outros fatores são importantes para redução de deriva, como por exemplo, altura de barra e velocidade de pulverização, velocidade do vento, temperatura ambiente e umidade relativa. Esses experimentos também são necessários para reduzir as perdas potenciais, aumentando a eficácia das aplicações de dicamba.

2.7. Adjuvantes: agentes de controle de deriva

Adjuvante é qualquer substância em uma determinada formulação de herbicida, ou adicionada ao tanque de pulverização para melhorar a atividade herbicida ou as características de aplicação. Eles são classificados em duas categorias gerais: adjuvantes ativadores e adjuvantes de propósito especial (CURRAN; LINGENFELTER, 2009).

Adjuvantes da primeira classe incluem surfactantes, óleo vegetal, fertilizantes de nitrogênio, adesivos espalhadores, agentes umectantes e penetrantes. Normalmente, são utilizados para melhorar o desempenho do herbicida pós-emergente, podendo aumentar a atividade do herbicida, promover melhor absorção no tecido da planta, e resistência à chuva; também podem diminuir a fotodegradação do herbicida e alterar as características físicas da solução de pulverização.

Para a última classe, pode-se citar a ampliação na gama de condições sob as quais uma determinada formulação de herbicida é útil, alterando as características físicas da solução de pulverização. Como exemplo, pode-se citar o uso de agentes de compatibilidade, agentes tamponantes, anti-espuma e agentes de controle de deriva.

Os agentes de controle de deriva, geralmente espessantes, modificam as características de pulverização através do aumento do diâmetro de gotas, minimizando a formação de gotas deriváveis. Os inibidores de deriva são geralmente poliacrilamida ou polímeros de polivinil (CURRAN; LINGENFELTER, 2009).

Uma das formulações disponíveis de dicamba, ligado ao sal diglicolamina (DGA), foi modificada pela adição de um agente de controle de deriva chamado VaporGrip, um tampão de ácido acético que elimina prótons livres na solução (Figura 1) (ABRAHAM, 2018).

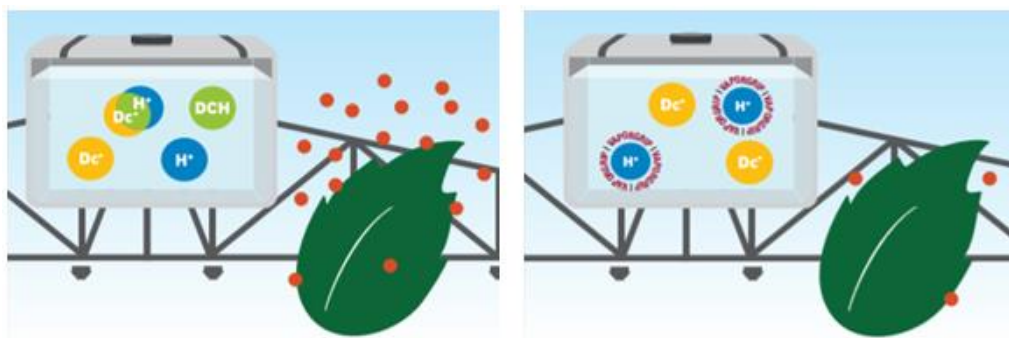


Figura 1. VaporGrip. No tanque de pulverização existe o potencial de formação do dicamba ácido (DCH) em solução e, conseqüentemente, a ocorrência de deriva através de volatilização após aplicação. Quando adicionado ao tanque, o VaporGrip® reduz a formação de DCH, minimizando o potencial de volatilização. Fonte: <https://www.corn-states.com/app/uploads/2020/01/CY20-XtendiMax-with-Vapor-Grip.Volatility.pdf>

Adjuvantes redutores de deriva, juntamente com diferentes pontas de pulverização têm sido estudados para diminuir ainda mais a deriva e a volatilização de dicamba. No entanto, antes de usar qualquer adjuvante, é necessário entender como ele pode melhorar a solução de pulverização e/ou a eficácia do controle de plantas daninhas.

Referências

- ABRAHAM, W. **The chemistry behind low-volatility dicamba** (2018). St. Louis: Bayer Crop Science. 2 p.
- ABRAPA. **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão** (2020). Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>. Acessado em 02 junho 2021.
- ANDEF. Manual de tecnologia de aplicação/ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. Campinas, São Paulo. **Linea creativa**, (2004). Disponível em: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>. Acessado em: 20 junho 2021.
- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação para a cultura do algodão (2013). In: BELOT, J.-L. (Ed.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 1 ed. Cuiabá: IMAm e Ampa. p 100-107.
- ASAE ANSI/ASABE. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. American Society of Agricultural and Biological Engineers (2013) St. Joseph, MI.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas (2006). 1. ed. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, p. 47.
- BASF. **Engenia herbicide** (2021). Disponível em: <https://agro.basf.us/campaigns/engenia/>. Acessado em: 20 junho 2021.
- BASF. **Engenia herbicide**. Summary of new application requirements for 2021 (2021). Disponível em: https://www.engeniaherbicide.com/content/dam/cxm/agriculture/engeniaherbicide/homepage/documents/BASF_Flyer_Engenia_Application_Changes_2021_highres.pdf. Acessado em: 20 junho 2021
- BISH, M. D.; FARRELL, S. T.; LERCH, R. N.; BRADLEY, K. W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions (2019). **J. Environ. Qual.** doi:10.2134/jeq2019.05.0197.
- BISH, M.; OSELAND, E.; BRADLEY, K. Off-target pesticide movement: a review of our current understanding of drift due to inversions and secondary movement (2020). **Weed Technology**, 1-12. doi:10.1017/wet.2020.138.
- BOLLER, W.; RAETANO, C. G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: Aldeia Norte, 2011. p. 51-82.
- BUSI, R.; POWLES, S.B. Inheritance of 2,4-D resistance traits in multiple herbicide-resistant *Raphanus raphanistrum* populations (2017). **Plant Sci** 257:1–8.

- BUTLER ELLIS, M.C.; TUCK, C.R.; MILLER, P. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** (2001), London, v.190, n.3, p.267-276, 2001.
- CEPEA. PIB do Agronegócio: **PIB do agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020** (2021). Disponível em: https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/sut.pib_dez_2020.9mar2021.pdf. Acessado em 01 junho 2021.
- CHRISTOFFOLETI, P. J; FIGUEIREDO, M. R.A.; PERES, L. E. P.; NISSEN, S.; GAINES, T. Auxinic herbicides, mechanisms of action, and weed resistance: a look into recent plant science advances (2015). **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 356-362. doi:10.1590/0103-9016-2014-0360.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acomp. safra bras. grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo segundo levantamento** (2020). Brasília, p. 1-68, setembro 2020. ISSN 2318-6852.
- CURRAN, W.S.; LINGENFELTER, D. D. **Adjuvants for enhancing herbicide performance** (2009). The Pennsylvania State University 2009. Disponível em: <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/3066/1847cu99.pdf>. Acessado em: 25 abril 2021.
- DUKE, S.O. Biotechnology: herbicide-resistant crops (2014). **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, 94–116. doi:10.1016/b978-0-444-52512-3.00218-7.
- EPA. **Memorandum supporting decision to approve registration for the uses of dicamba on dicamba tolerant cotton and soybean** (2020). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/dicamba-decision_10-27-2020.pdf. Acessado em: 02 junho 2021.
- EPA **Generic verification protocol for testing pesticide application spray drift reduction technologies for row and field crops, U.S.** (2016). Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/drt-protocol-06-21-2016-v2.pdf>. Acessado em: 03 junho 2021.
- FERREIRA, E. A.; GALON, L.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; OLIVEIRA, J. A.; VARGAS, L. Glyphosate translocation in hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) Biotypes (2008). **Planta Daninha (Impresso)**, v. 26, p. 637-643. doi: 10.1590/S0100-83582008000300020.
- FERREIRA, P.H.U., THIESEN, L.V., PELEGRINI, G. et al. Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Sci Rep** 10, 18833 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75996-5>.
- GAINES, T. A; DUKE, S. O.; MORRAN, S.; RIGON, C. A. G.; TRANEL, P. J; KUPPER, A.; DAYAN, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, jbc.REV120.013572. doi:10.1074/jbc.REV120.013572..

- HARTZLER, B. **A historical perspective on dicamba** (2017). Disponível em: <https://crops.extension.iastate.edu/blog/bobhartzler/historicalperspectivedicamba#:~:text=The%20herbicide%20dicamba%20was%20first,and%20for%20non%2Dcrop%20areas>. Acessado em: 20 junho 2021.
- JONES, G.T.; NORSWORTHY, J.K.; BARBER, T.; GBUR, E.; KRUGER, G.R. Off-target movement of DGA and BAPMA dicamba to sensitive soybean (2019). **Weed Technol** 33:51–65. doi: 10.1017/wet.2018.121.
- KRUGER, G. R.; DAVIS, V. M.; WELLER, S. C.; JOHNSON, W. G. Control of Horseweed (*Conyza canadensis*) with Growth Regulator Herbicides (2010). **Weed Technology**, 24(04), 425–429, 2010.
- LEFEBVRE, A. H. Atomization and sprays. **New York: Hemisphere Publishing Corporation**, 1989. 421 p.
- MALVERN. **Getting started—manual mastersizer** (1997). 1.3, United Kingdom, 1-183.
- MARCHI, G.; MARCHI, E.C.S; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso (2008). Planatina: **Embrapa Cerrado**. 36 p.
- MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods** (2000). 3.ed. Oxford: Blackwell Science.
- MILLER, D. R.; STOUGHTON, T. E.; STEINKE, W. E.; HUDDLESTON, E. W.; BOSS, J. B. Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard (2000). **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 43, n. 5, p. 1057-1066. (<https://doi.org/10.13031/2013.2998>).
- MILLER, P.; ELLIS, M.B.; LANE, A.; O'SULLIVAN, C.M.; TUCK, C.; ORSON, J.; BUSH, M.; COOK, S.M.; BOYS, E.; CUSSANS, J. Methods for minimizing drift and off-target exposure from boom sprayer applications (2011). **Aspects of Applied Biology**, 281-288.
- MUELLER T.C.; STECKEL, L.E. Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives (2019). **Weed Technol** 33: 547–554. doi: 10.1017/wet.2019.40.
- OSELAND, E, BISH, M, STECKEL, L, BRADLEY, K. Identification of environmental factors that influence the likelihood of off-target movement of dicamba (2020). **Pest Manag Sci** 76:3282–3291.
- OZKAN, H. E. Effects of major variables on drift distances of spray droplets (1998). **Food, Agricultural and Biological Engineering**. AEX 525-98.
- PENTAIR. **Hypro nozzle decision tree** (2020). Disponível em: https://www.sprayersupplies.com/media/documents/hypro_spray_nozzle_selection_guide.pdf. Acessado em 20 junho 2021.

SOLTANI, N.; OLIVEIRA, M.C.; ALVES, G.S.; WERLE, R.; NORSWORTHY, J.K.; SPRAGUE, C.L.; YOUNG, B.G.; REYNOLDS, D.B.; BROWN, A.; SIKKEMA, P.H. Off-target movement assessment of dicamba in North America (2020). **Weed Technol** 34:318–330.

TEEJET. **Catálogo 51A-PT.** Disponível em https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET_PT/documents/catalogs/cat51a-pt.pdf. Acessado em: 12 maio 2021.

THOSTENSON, A.; ENZ, J. W.; HOFMAN, V. **Air temperature inversions:** causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift (2019). North Dakota State University Fargo, North Dakota. Disponível em: <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/air-temperature-inversions-causes-characteristics-and-potential-effects-on-pesticide-spray-drift>. Acesso em: 30 junho 2021.

TRAVLOS, I.; CHEIMONA, N.; BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds (2017). **Agronomy** 2017, 7, 60. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030060>.

USDA. United States Department of Agriculture, Economic Research Service (2020). **Special tabulation, based on the agricultural resources management survey:** crop production practices data. Compiled by Dodson, Laura.

VINK, J., SOLTANI, N., ROBINSON, D., TARDIF, F., LAWTON, M.; SIKKEMA, P. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) control in dicamba-tolerant soybean (2012). **Weed Technol**, 26:422-8.

WEIDENHAMER, J. D.; TRIPLETT, G. B.; SOBOTKA, F. E. Dicamba injury to soybean (1989). **Agronomy Journal**, v. 81, n. 4, p. 637-643.

WESTBERG, D.E.; ADAMS, A. Application stewardship of engenia herbicide in dicamba tolerant crops (2017). In: **Proceedings of the Southern Weed Science Society 70th Annual Meeting**, Birmingham, AL. 23–26 Jan. 2017. Southern Weed Sci. Soc., Westminster, CO. p. 155.

ZHANG, R.; CHEN, L.; WEN, Y., TANG, Q.; LI, L. Key Technologies for testing and analyzing aerial spray deposition and drift: a comprehensive review (2020). **Int J Precis Agric Aviat**, 2020; 3(2): 13–27.

3. ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DE FORMULAÇÕES DE DICAMBA COM GLIFOSATO SAL DE POTÁSSIO, ADJUVANTES, PONTAS DE PULVERIZAÇÃO E PRESSÃO DE TRABALHO

Resumo

Recentemente, a introdução de cultivares de soja, algodão e milho transgênicos resistentes ao dicamba permitiu o uso de herbicidas auxínicos em pós-emergência para essas culturas. Com essa nova tecnologia, a técnica de mistura em tanque com glifosato vem se tornando mais comum para o manejo da resistência e controle de plantas daninhas resistentes e tolerantes. A mistura de glifosato com dicamba aumenta a proporção de gotas menores, quando comparados com dicamba isolado. A correlação entre o espectro de gotas e deriva é bem conhecido, e o percentual de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm aumentam o potencial de deriva. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o espectro de gotas das misturas em tanque de dicamba e glifosato, com diferentes adjuvantes, pressões e pontas com indução de ar. O espectro de gotas foi determinado por SprayTec® analisador de partículas de difração a laser (Malvern Panalytical). As variáveis analisadas foram o volume do Diâmetro Médio Volumétrico (DMV), porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150) e amplitude relativa (SPAN). Os tratamentos avaliados foram as combinações de três pontas (TTI, ULD e ULDMax), com diferentes adjuvantes redutores de deriva, Mees e Fluiflex (0,1% v/v), em misturas de dicamba sal DGA (Atectra®) e sal BAPMA (Engenia®), com ou sem glifosato potássico, em duas pressões de trabalho, 3 e 5 bar. No geral, a adição de glifosato potássico à solução herbicida, para ambos os sais, resultou em menor DMV, e a adição dos adjuvantes Mees e Fluiflex (0,1% v/v) aumentaram o DMV e reduziram a porcentagem de V150; sendo que, para essa última variável, menores resultados foram encontrados com o adjuvante Mees. A ponta ULD apresentou DMV menor e V150 maior para todas as soluções avaliadas, quando comparado com as demais pontas. De modo geral, a ponta ULDMax apresentou maiores valores de DMV e menores V150, seguida pela ponta TTI. Para a solução herbicida BAPMA + glifosato K, as pontas TTI e ULDMax geraram os maiores valores de gotas deriváveis, nas duas pressões de trabalho estudadas. Pode-se dizer, ainda, que a ponta ULDMax apresentou maior uniformidade de distribuição do tamanho das gotas, evidenciado nos resultados de SPAN. Comparando as formulações de dicamba sal DGA e BAPMA, foi observado um comportamento muito semelhante, com os resultados variando de acordo com a combinação de ponta, adjuvante, pressão de trabalho e suas interações. Dessa forma, é preciso encontrar as combinações corretas, que promovam, ao mesmo tempo, menores valores de V150 e maiores de DMV para cada solução herbicida.

Palavras-chave: 1. Dicamba 2. Deriva 3. Espectro de gotas 4. Adjuvantes

Abstract

Droplet spectrum as a function of the interaction among dicamba formulations with glyphosate potassium salt, adjuvants, spray nozzles and working pressures

Recently, the introduction of dicamba-tolerant transgenic soybean, cotton and corn cultivars allowed the use of auxinic herbicides in post-emergence for these crops. With this new technology, the tank-mixture with glyphosate is becoming more common for resistance management and control of resistant and tolerant weeds. Mixing glyphosate with dicamba increases the proportion of smaller droplets compared to dicamba alone. The correlation between droplet spectrum and drift is well known, and the volume percentage of droplets with a diameter less than 150 μm increases the drift potential. Therefore, the objective of this work was to evaluate the droplet spectrum of the dicamba and glyphosate tank-mixtures, with different adjuvants, working pressures and air induction nozzles. The droplet spectrum was determined by a SprayTec® laser diffraction particle analyzer (Malvern Panalytical). The variables analyzed were the volume of the Volume Mean Diameter (VDM), the

percentage of driftable droplets (V150), and relative amplitude (SPAN). The treatments evaluated were the combinations of three spray nozzles (TTI, ULD and ULDMax), with different drift-reducing adjuvants, Mees and Fluiflex (0.1% v/v), in mixtures of dicamba DGA salt (Atectra®) and BAPMA salt (Engenia®), with or without potassium glyphosate, at two working pressures, 3 and 5 bar. Overall, the addition of potassium glyphosate to the herbicide mixture, for both dicamba salts, resulted in lower VMD; and the inclusion of the adjuvants Mees and Fluiflex (0.1% v/v) increased the VMD and reduced the percentages of driftable droplets smaller than 150 μm (V150); with lower V150 using Mees. The ULD spray nozzle showed lower VMD and higher V150 for all spray solutions, when compared with the other nozzles. In general, the ULDMax spray nozzle resulted in higher VMD e lower V150 values, followed by the TTI nozzle. For the spray mixture BAPMA + glyphosate K, the TTI and ULDMax spray nozzles showed higher values of driftable droplets, in both working pressures. It can also be noticed that the ULDMax nozzle showed greater uniformity of drop size distribution, as evidenced by the SPAN. Comparing the DGA and BAPMA salt dicamba formulations, a similar behavior was observed, with the results varying according with the combination of spray nozzle, adjuvant, working pressure and their interactions. Thus, it is necessary to find the correct combination that promote, at the same time, lower values of V150 and higher values of DMV for each herbicide solution.

Keywords: 1. Dicamba 2. Drift 3. Droplets spectrum 4. Adjuvants

3.1. Introdução

Herbicidas auxínicos sintéticos (grupo 4) mimetizam a atividade do hormônio vegetal auxina (ácido indolacético, AIA). Esses herbicidas são utilizados em pós-emergência para o controle seletivo de plantas daninhas de folhas largas em culturas de gramíneas e pastagens. Entretanto, os problemas crescentes com plantas daninhas resistentes a herbicidas levaram a um aumento no uso de dicamba, e a introdução de cultivares resistentes a dicamba com aplicações em pós-emergência aumentará esta tendência. Cultivares resistentes aos herbicidas auxínicos (milho, algodão e soja) foram desenvolvidos para fornecer um mecanismo de controle químico adicional, além de ajudar no controle e mitigação da evolução de plantas daninhas resistentes ao glifosato (grupo 9), herbicidas inibidores de ALS (acetolactato sintase) (grupo 2), e herbicidas inibidores de PPO (protoporfirinogênio oxidase) (grupo 14) (EPA, 2020).

Para minimizar os danos provocados pela deriva, técnicas de redução de deriva (TRD) foram estabelecidas. Dentre essas técnicas estão a utilização de pontas com indução de ar e adição de adjuvantes em misturas em tanque. Os agentes de controle de deriva, geralmente espessantes, modificam as características de pulverização através do aumento do diâmetro de gotas, minimizando a formação de gotas deriváveis.

O estudo de misturas em tanque com adjuvantes e diferentes pontas de pulverização é de extrema importância, pois cada combinação pode alterar o tamanho das gotas de uma maneira. Além dos diferentes tipos de pontas, da relação pressão de pulverização e o respectivo tamanho de gota gerado, é preciso considerar outros fatores, como por exemplo, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e de avanço da aplicação, para redução da deriva.

Diferentes técnicas têm sido utilizadas para o estudo de deriva, como túneis de vento de alta e baixa velocidade, mensuração do espectro de gotas e estudos de deposição em campo utilizando coletores posicionados a favor do vento. O tamanho das gotas de pulverização é influenciado pelo tipo de ponta e formulações, variando ainda com a adição de adjuvantes. Ele pode ser medido em tempo real utilizando um analisador de partículas, como o Malvern Spraytec (U.K.). Esses experimentos também são necessários para reduzir as perdas potenciais, aumentando a eficácia das aplicações de dicamba.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o espectro de gotas proveniente de aplicações de dicamba, em dois tipos de sais, DGA e BAPMA. Entender qual o efeito da adição de glifosato potássico e adjuvantes redutores de deriva às misturas de dicamba; assim como avaliar qual a melhor ponta para as combinações de herbicidas e adjuvantes utilizados, considerando duas pressões de trabalho.

3.2. Material e Métodos

O ensaio foi conduzido no laboratório de tecnologia de aplicação, na estação, situada em Santo Antônio de Posse-SP.

Para estudar a relação entre soluções herbicida, pontas de pulverização e pressão de trabalho, o estudo foi planejado em um esquema fatorial de $9 \times 3 \times 2$, com delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para cada tratamento foram feitas quatro repetições.

Os herbicidas utilizados estão descritos na Tabela 2. As pontas de redução de deriva com jato leque plano com indução de ar utilizadas nas aplicações estão descritas na Tabela 3, assim como o tamanho de gotas produzido em cada pressão de trabalho, 300 e 500 kPa. As doses dos adjuvantes foram ajustadas de acordo com a recomendação do fabricante (Tabela 4). A vazão utilizada para a leitura das gotas foi de 100L/ha. O espectro de gotas foi lido utilizando o SprayTec® 10K (Malvern Panalytical, 2019) um analisador de partículas de difração a laser (Figura 2).

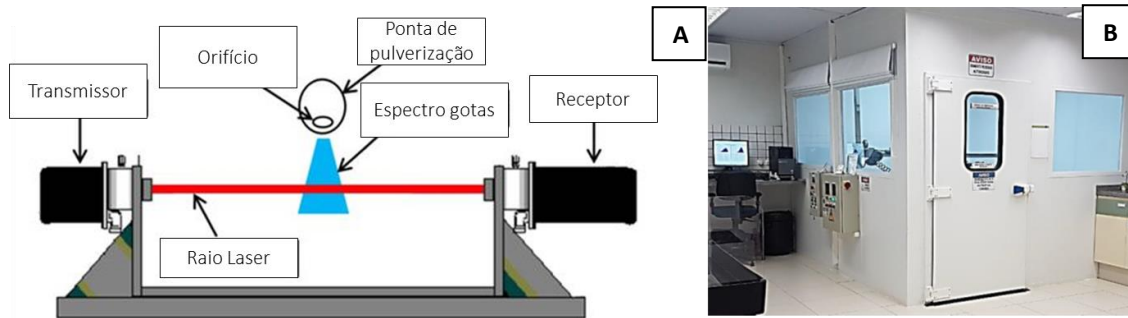


Figura 2. (A) Esquema da leitura do tamanho de gotas através do aparelho SprayTec 10K da Malvern Panalytical. Adaptado de Z. Y. Han et al., 2013, Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze. doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0560>. (B) Câmara de aplicação localizada no laboratório de tecnologia de aplicação da BASF, em Santo Antonio da Posse - SP. Fonte: IX Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação (SINTAG), 9-11 de setembro de 2019 Campo Grande/MS.

A medição do espectro de gotas é feita através da intensidade da luz espalhada quando um feixe de laser passa pelas gotas de pulverização. Os dados são então analisados para calcular o tamanho das gotas que criam o padrão de espalhamento. Os resultados de distribuição do tamanho de partículas são obtidos na forma de diâmetro de partícula (μm) e distribuição de massa cumulativa.

As variáveis analisadas foram Dv_{10} (diâmetro de gota no qual 10% do volume do líquido pulverizado consiste em gotas de tamanho igual ou menor que esse valor), Dv_{50} (conhecido também como diâmetro médio volumétrico - DMV, o diâmetro de gota em que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído por gotas de tamanho maior ou menor que esse valor), Dv_{90} (diâmetro de gota no qual 90% do volume do líquido pulverizado consiste em gotas de tamanho igual ou menor que esse valor), amplitude relativa ou coeficiente de uniformidade (SPAN) (Equação 1). A porcentagem de volume pulverizado contendo gotas com o diâmetro menor que $150 \mu\text{m}$ (V_{150}) foi também determinada, a qual indica o potencial risco de deriva durante a aplicação (CUNHA et al., 2004).

$$SPAN = \frac{Dv_{0,9} - Dv_{0,1}}{Dv_{0,5}} \quad (\text{Equação } 1)$$

A metodologia padrão de tamanho de gota ANSI/ASABE (2013) foi adotada para classificar o espectro de gota das pontas. Antes da realização das aplicações, as pontas foram testadas com mistura de água e adjuvante surfactante (0,1% v/v), em pressão constante de 300 kPa.

Tabela 2. Nome comercial, ingrediente ativo, dose aplicada, formulação e concentração dos herbicidas utilizados no trabalho.

Herbicida	Ingrediente e Ativo	Dose (L/ha)	Concentração equivalente ácido (g/L)	Sal	Concentração (g/ha)
Aectra	Dicamba	1,0	480	2-(2-aminoetoxi)etanol do ácido 3,6-dicloro-o-anisico (DGA)	480
Engenia	Dicamba	0,8	600	N,N-Bis-(3-aminopropil)methylamina (BAPMA)	480
Roundup Transorb R	Glifosato	3,0	480	Sal potássico de N-(fosfonometil) glicina	1440

Tabela 3. Descrição das pontas utilizadas e suas respectivas características, fabricantes e classificação da ASABE/ANSI de acordo com as pressões de trabalho. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.

Pontas	Fabricante	Intervalo de Pressão (BAR)	Ângulo de Aplicação	Tamanho de gota	
				3 bar	5 bar
TT110025	Teejet	1-7	110	UG	EG
FC-ULD120-025	Pentair Hypro	1,4-8	120	G	M-G
FC-ULDMax130-025 U	Pentair Hypro	2-7	130	UG	UG

Tabela 4. Relação de ingrediente ativo, nome comercial, fabricante e concentração de cada adjuvante utilizado.

Ingrediente ativo do adjuvante	Nome comercial	Fabricante	Concentração % (v/v)
Lecitina+ Éster metílico de soja + Álcool etoxilado	Fluiflex	Agrichem do Brasil, Ribeirão Preto, SP, Brasil	0,1
Óleo metilado de soja	MEES	BASF S.A., São Paulo, SP, Brasil	0,1

Na Tabela 5 estão descritos os tratamentos utilizados. Foram utilizadas três diferentes pontas de pulverização e duas combinações de pressões, 3 e 5 bar, para cada uma das soluções, totalizando 54 tratamentos (9x3x2). Para cada tratamento foram feitas quatro leituras.

Tabela 5. Lista dos tratamentos utilizados, compostos por nove soluções herbicida, três pontas com indução de ar e duas pressões de trabalho. Submetidos a leitura do Spraytec Malvern um analisador de partículas de difração a laser.

Solução herbicida*	Pontas	Pressão
Água	TTI110025	3
DGA (1,0L/ha) + Fluiflex (0,1% v/v)	FC-ULD120-025	5
DGA (1,0L/ha) + Mees (0,1% v/v)	FC-ULDMax130-025 U	
DGA (1,0L/ha) + Glifosato K (3L/ha) + Mees (0,1% v/v)		
BAPMA (0,8L/ha) + Fluiflex (0,1% v/v)		
BAPMA (0,8L/ha) + Mees (0,1% v/v)		
BAPMA (0,8L/ha) + Glifosato K (3L/ha)		
BAPMA (0,8L/ha) + Glifosato K (3L/ha) + Mees (0,1% v/v)		
BAPMA (0,8L/ha) + Glifosato K (3L/ha) + Fluiflex (0,1% v/v)		

*Volume de calda: 100L/há

3.2.1. Análise estatística

Todas as análises foram concluídas com software estatístico R, versão 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021). Um modelo linear generalizado foi ajustado para todas as variáveis resposta, Dv10, Dv50, Dv90 e RS usando a função glm do pacote “stats” com distribuição gamma. Para a variável gotas finas deriváveis, o modelo foi ajustado com a função betareg do pacote “betareg” com distribuição beta. Nos modelos, os tratamentos ponta, solução herbicida e pressão foram os efeitos fixos e as repetições os efeitos aleatórios. A homogeneidade de variância foi verificada pelo teste de Levene usando a função leveneTest. A análise de variância (ANOVA) foi realizada com a função Anova do pacote “car” para Dv10, Dv50, Dv90, RS e Anova betareg do pacote “betareg” para gotas finas, ao nível de significância de 5%. Quando significativas, as médias marginais das interações ou dos efeitos principais foram estimadas com a função emmeans do pacote “emmeans”. As médias foram ajustadas pelo teste de Fisher Least Square Means ao nível de 5% de probabilidade com a função cld do pacote “multcomp”.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Diâmetro Médio Volumétrico (DMV)

Observando a tabela de Análise de Variância (ANOVA) abaixo, pode-se concluir que existe diferença significativa para os todos os fatores estudados, assim como para as interações entre eles (Tabela 6). A significância do teste F para todos os fatores é um indicativo de que se deve considerar os efeitos combinados das pontas com as pressões, assim como as propriedades da solução de pulverização, no desenvolvimento de técnicas para redução de deriva (FERGUSON et al., 2015). Vários autores descrevem a importância da interação entre o

desempenho da ponta e as propriedades físicas da solução de pulverização (HILZ; VERMEER, 2013; MILLER; BUTLER, 2011).

Tabela 6. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para o DMV (Dv50).

	X ²	GL	p-valor
herbicida	215.1	8	< 2.2e-16 *
ponta	8093.3	2	< 2.2e-16 *
pressão	1639.1	1	< 2.2e-16 *
herbicida:ponta	253.2	16	< 2.2e-16 *
herbicida:pressão	44.9	8	3.793e-07 *
ponta:pressão	37.6	2	6.993e-09 *
herbicida:ponta:pressão	187.9	16	< 2.2e-16 *

*Teste F significativo a 1% de probabilidade ($\alpha=0.01$)

Na figura abaixo é possível observar a variação do tamanho de gotas para as três pontas, nas pressões de 3 e 5 bar (Figura 3). A ponta ULD025 apresentou menor variação entre tratamentos, mas menor DMV de gotas quando comparada às outras duas pontas utilizadas.

Os resultados obtidos nesse estudo demonstram que as pontas apresentam mudanças no espectro das gotas quando existe modificação dos componentes da solução pulverizada (Figura 3).

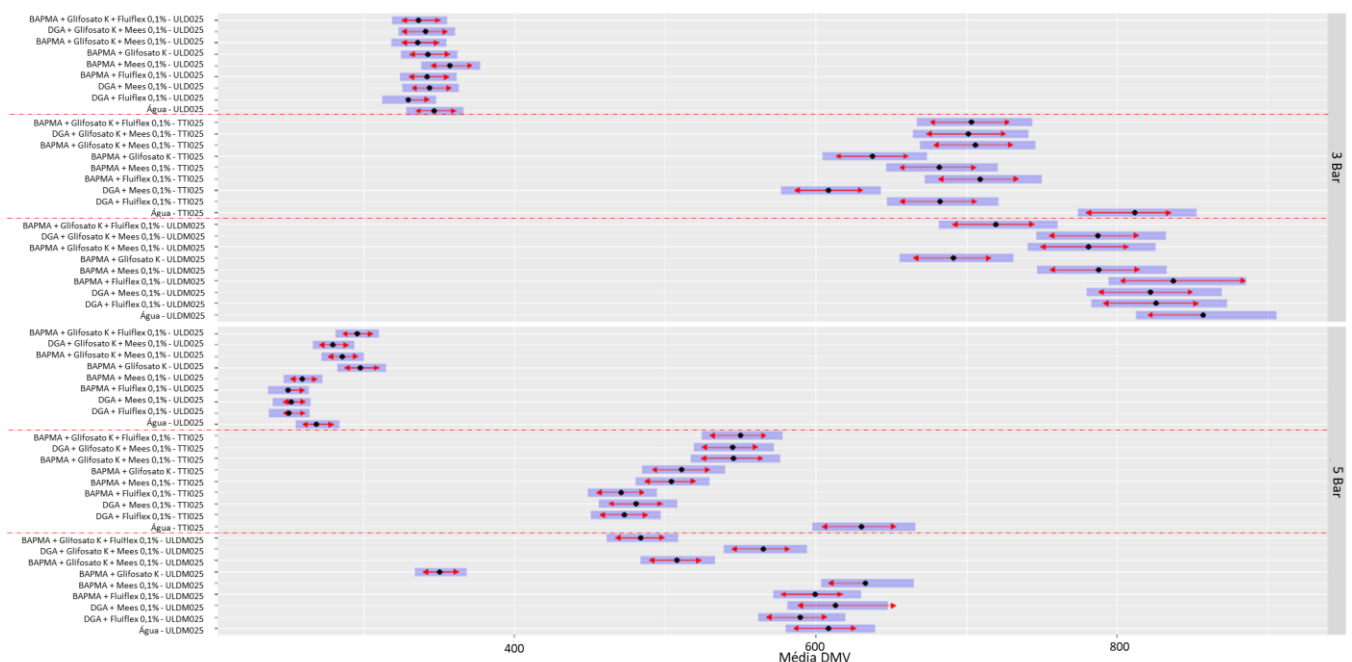


Figura 3. Diâmetro médio volumétrico (DMV), em μm , produzido por diferentes pontas em aplicações de dicamba sozinho e em mistura com glifosato e adjuvantes redutores de deriva, em duas pressões de trabalho, 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$

Para a ponta ULDMax025, os valores de Dv_{50} variaram entre 857 μm e 692 μm , de acordo com a solução. Observa-se, ainda, que a adição de glifosato potássico à mistura diminuiu o DMV; entretanto a adição do adjuvante Mees 0,1% (v/v) contribuiu para o aumento significativo do DMV quando em mistura com Glifosato K + BAPMA. Com relação à adição dos adjuvantes, foi utilizada a concentração de 0,1% v/v, pois doses maiores têm demonstrado potencial de causar fitotoxicidade em condições de campo.

Com relação à ponta TTI025, pode-se observar que houve diferença no tamanho de gotas devido à adição de adjuvantes redutores de deriva à mistura de BAPMA + Glifosato K (Tabela 7). O valor do DMV para essa solução foi de 638 μm , resultado muito semelhante ao observado por Antuniassi et al. (2020), que obteve valor de 640 μm usando a mesma ponta e pressão trabalho, porém utilizando o dicamba com sal DGA em solução. Sendo assim, pode-se deduzir que mesmo com diferentes sais de dicamba, a ponta TTI teve um comportamento muito parecido quando esse herbicida é associado com glifosato potássico, na pressão de 3 bar.

Pode-se observar, ainda, que a adição dos adjuvantes, tanto Mees quanto Fluiflex, à mistura de BAPMA + Glifosato K resultou em tamanho maior de gotas para a ponta TTI. Contudo, menores tamanhos de gotas foram observadas para a mistura DGA + Mees 0,1% (v/v) quando comparada à mistura BAPMA + Mees 0,1% (v/v). Resultado semelhante foi demonstrado por Jones, G. T. et al. (2019), utilizando a mesma ponta e vazão parecida (2,75 bar), com DMV de 757 μm e 744 μm , para as soluções de dicamba, sal DGA e BAPMA, respectivamente.

Para a ponta ULD025, pode-se observar que não houve diferença significativa entre a maioria dos tratamentos, independente da adição de glifosato potássico e adjuvantes redutores de deriva (Tabela 7). Os únicos dois tratamentos que diferiram estatisticamente foram BAPMA + Mees 0,1% (v/v) e DGA + Fluiflex 0,1% (v/v), sendo que a primeira mistura apresentou maiores tamanhos de gotas.

Na Tabela 7 também é possível fazer a comparação entre pontas para cada solução testada. A ponta ULD produziu gotas menores e se diferenciou estatisticamente das outras duas pontas para todas as soluções. Em contrapartida, a ponta ULDMax apresentou maior DMV para todas as misturas, sendo que as únicas duas soluções que não diferiram estatisticamente entre as pontas TTI e ULDMax foram Água e BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v).

Tabela 7. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do diâmetro médio volumétrico (DMV)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.

Tratamentos	ULD025		T^{TTI}025		ULDMax025	
Água	346	ABb	812	Aa	857	Aa
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	330	Bc	682	BCb	826	ABa
DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	341	ABc	701	Bb	787	Ba
DGA + Mees 0,1% (v/v)	344	ABc	608	Db	822	ABa
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	342	ABc	709	Bb	838	ABa
BAPMA + Glifosato K	342	ABc	638	CDb	692	Ca
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	336	ABb	704	Ba	719	Ca
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	336	ABc	706	Bb	781	Ba
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	357	Ac	682	BCb	788	Ba

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Com a elevação da pressão para 5 bar, foram observados menores DMV para todas as pontas, como esperado (Tabela 8). Para a ponta ULDMax025, a adição de glifosato K reduziu significativamente o tamanho de gotas para as misturas de DGA e BAPMA. Para a mistura BAPMA + Glifosato K, o valor de DMV obtido foi de 351 μm . A adição de ambos os adjuvantes, Fluiflex e Mees a 0,1% (v/v), aumentou o DMV de gotas para a mistura com DGA + Glifosato K (Tabela 8). Todavia, desempenho inverso foi observado para a ponta ULD025 e T^{TTI}025, na qual a adição de glifosato à mistura não resultou em diminuição do DMV.

Comparando as pontas, observa-se comportamento semelhante para ponta ULD em pressões diferentes, de 3 e 5 bar. Essa ponta apresentou resultado de DMV significativamente inferior para todas as soluções avaliadas. O aumento da pressão para 5 bar fez com que houvesse uma maior aproximação dos valores de DMV para as pontas ULDMax e T^{TTI}, sendo que, para algumas soluções, como BAPMA + Glifosato K e BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v), a ponta T^{TTI} obteve DMV significativamente maior do que a ponta ULDMax.

Tabela 8. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do diâmetro médio volumétrico (DMV)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.

Tratamentos	ULD025	TTI025	ULDMax025
Água	269 BCb	630 Aa	609 ABa
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	250 Cc	473 Eb	590 BCa
DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	280 ABb	545 BCa	565 Ca
DGA + Mees 0,1% (v/v)	252 Cc	481 DEb	613 ABa
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	250 Cc	471 Eb	600 ABCa
BAPMA + Glifosato K	298 Ac	511 CDa	351 Eb
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	295 Ac	550 Ba	484 Db
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	286 ABb	546 BCa	508 Da
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	259 Cc	504 DEb	633 Aa

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Na pressão de 3 bar, a ponta ULDMax gerou gotas classificadas como extremamente a ultra grossa para todos os tratamentos estudados (Tabela 9). Para a ponta TTI, as gotas também foram classificadas como extremamente a ultra grossa para todos os tratamentos, com exceção das soluções de BAPMA + Glifosato K e DGA + Mees 0,1% (v/v), para os quais foram observadas gotas muito a extremamente grossa. Já a ponta ULD gerou gotas com os tamanhos variando entre médias a grossas e finas a médias.

Na pressão de 5 bar (Tabela 10), a ponta ULDMax produziu gotas muito grossas a extremamente grossas para todos os tratamentos, com exceção de BAPMA + Glifosato K e BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v), que produziram gotas médias a grossas e grossas a muito grossas, respectivamente. A ponta TTI também gerou a maioria de gotas muito a extremamente grossas, variando apenas para os tratamentos BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v), DGA + Mees 0,1% (v/v) e DGA + Fluiflex 0,1% (v/v), as quais foram classificadas como grossas a muito grossas. A ponta ULD seguiu o mesmo comportamento observado na pressão de trabalho de 3 bar, com gotas menores do que as observadas para as outras pontas, sendo classificadas como finas a médias em todos os tratamentos.

Observa-se, também, que na pressão de 5 bar ocorre maior amplitude na classificação das gotas para a ponta ULDMax, com três tipos de classificação diferentes para os tratamentos (média-grossa, grossa-muito grossa e muito-extremamente grossa). Já na pressão de 3 bar, a mesma ponta manteve um comportamento constante, gerando apenas gotas extremamente a ultra grossas.

Para a ponta TTI, os tratamentos com DGA, em ambas as pressões, demonstraram gotas classificadas como menores quando comparada com as mesmas misturas de BAPMA.

Além disso, para os tratamentos BAPMA + Glifosato K+ Mees 0,1% (v/v), notou-se que a adição do adjuvante resultou em gotas mais grossas para as pontas TTI e ULDMax, nas pressões de trabalho de 3 e 5 bar, respectivamente.

Tabela 9. Classificação de tamanho de gotas de acordo com a ASABE S572.2 para as soluções herbicidas, nas três pontas com a pressão de três bar. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.

Tratamentos	TTI025		ULD025		ULDMax025	
	DMV	Classificação	DMV	Classificação	DMV	Classificação
Água	812	EG/UG	346	M/G	857	EG/UG
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	682	EG/UG	357	M/G	788	EG/UG
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	706	EG/UG	336	F/M	781	EG/UG
BAPMA + Glifosato K	638	MG/EG	342	M/G	692	EG/UG
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	704	EG/UG	336	F/M	719	EG/UG
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	709	EG/UG	342	M/G	838	EG/UG
DGA + Mees 0,1% (v/v)	608	MG/EG	344	M/G	822	EG/UG
DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	701	EG/UG	341	M/G	787	EG/UG
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	682	EG/UG	330	F/M	826	EG/UG

Tabela 10. Classificação de tamanho de gotas de acordo com a ASABE S572.2 para as soluções herbicidas, nas três pontas com a pressão de cinco bar. Abreviação de UG, Ultra Grossa; EG, Extremamente Grossa; MG, Muito Grossa, G, Grossa; M, Média; F, Fina; MF, Muito Fina.

Tratamentos	TTI025		ULD025		ULDMax025	
	DMV	Classificação	DMV	Classificação	DMV	Classificação
Água	630	MG/EG	269	F/M	609	MG/EG
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	504	MG/EG	259	F/M	633	MG/EG
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	546	MG/EG	286	F/M	508	MG/EG
BAPMA + Glifosato K	511	MG/EG	298	F/M	351	M/G
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	550	MG/EG	295	F/M	484	G/MG
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	471	G/MG	250	F/M	600	MG/EG
DGA + Mees 0,1% (v/v)	481	G/MG	252	F/M	613	MG/EG
DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	545	MG/EG	280	F/M	565	MG/EG
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	473	G/MG	250	F/M	590	MG/EG

Observando as variações do DMV, pode-se concluir que mesmo com as interações significativas para a combinação ponta, pressão e solução herbicida, com o comportamento das pontas variando em função de cada solução e pressão de trabalho aplicada no sistema, é possível generalizar que a ponta ULDMax produziu os maiores tamanhos de gotas, seguida pela ponta TTI.

Já a ponta ULD gerou gotas bem menores que suas concorrentes. Contudo, a adição dos adjuvantes Mees e Fluiflex, a 0,1% (v/v), aumentaram significativamente o DMV em mistura

de dicamba e glifosato, sendo uma ferramenta importante na redução do potencial de deriva de dicamba.

A maioria das pontas avaliadas produziu gotas ultra grossas e extremamente grossas (variando com a pressão), de acordo com o catálogo do fabricante. O uso do tamanho de gota ideal é uma das principais práticas para redução da deriva (ALVES et al., 2017).

Contudo, um estudo com a mistura de dicamba sal DGA com glifosato potássico demonstrou que gotas com o tamanho de 395 μm proporcionam melhor controle de plantas daninhas quando comparado com outros tamanhos de gotas, apesar do potencial de deriva. Para garantir o controle eficiente e, ao mesmo tempo, controlar a deriva, tamanho de gotas próximos a 620 μm foram recomendados, mantendo o controle acima de 90% (BUTTS et al., 2019). Dessa maneira, é importante entender melhor o desempenho de misturas em tanque de dicamba, glifosato e adjuvantes no controle plantas daninhas usando pontas como ULDMax e TTI, uma vez que ambas resultam em tamanhos de gota entre 700 μm e 800 μm .

3.3.2. Gotas finas deriváveis (Porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm , $\leq 150 \mu\text{m}$ ou V150)

Observando a tabela de Análise de Variância (ANOVA) abaixo, concluiu-se que existe diferença significativa para os todos os fatores estudados, assim como para as interações entre eles (Tabela 11). Novamente, a significância dos valores do teste F demonstra a importância de se considerar as combinações entre ponta *vs.* solução *vs.* pressão, no desenvolvimento de técnicas de redução de deriva.

Tabela 11. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para gotas finas deriváveis $\leq 150\mu\text{m}$ (V150).

	X ²	GL	p-valor
herbicida	604.38	8	< 2.2e-16 *
ponta	12872.55	2	< 2.2e-16 *
pressão	2850.189	1	< 2.2e-16 *
herbicida:ponta	923.53	16	< 2.2e-16 *
herbicida:pressão	67.619	8	1.461e-11 *
ponta:pressão	68.152	2	1.589e-15 *
herbicida:ponta:pressão	224.601	16	< 2.2e-16 *

*Teste F significativo a 1% de probabilidade ($\alpha=0.01$)

A figura abaixo demonstra a variação dos resultados da porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150) em diferentes pressões, pontas e soluções

herbicidas (Figura 4). Para a pressão de 3 bar, a ponta ULDMax apresentou a menor variação nos resultados de V150. Na pressão de 5 bar ocorreu maior variação dos resultados para todas as pontas, porém a maior variação foi observada para a ponta ULDMax. De maneira geral, a ponta TTI demonstrou uma menor variação dentre as diferentes soluções e pressões.

Pode-se observar a porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm para as misturas em cada ponta, nas duas pressões de trabalho (Figura 4). Para as pontas TTI e ULDMax, visualiza-se menores porcentagens de gotas finas deriváveis quando comparada com a ponta ULD. Outra observação possível é que para a solução herbicida BAPMA + Glifosato K as pontas TTI e ULDMax produziram seus maiores valores de gotas deriváveis, nas duas pressões de trabalho estudadas.

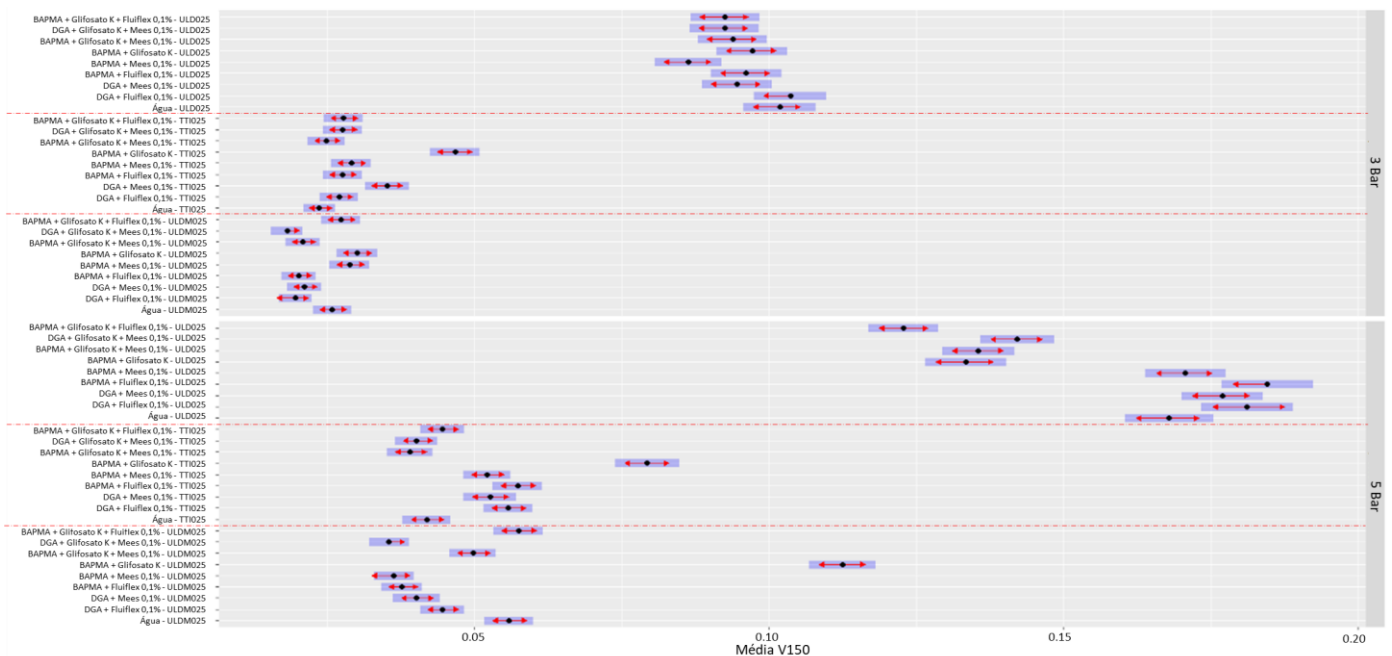


Figura 4. Porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150), em decimais, produzida por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes, nas pressões de 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$.

Observa-se na Tabela 12 a porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm (V150) produzidas pelas pontas nas diversas soluções para a pressão de 3 bar. Outra vez, a correlação significativa entre o desempenho das pontas e as soluções foi evidenciada estatisticamente. De acordo com Alves et al. (2017), a porcentagem de volume de gotas com diâmetro inferior a 150 μm , que é o volume de gotículas mais finas geradas durante a pulverização, é um parâmetro geralmente associado ao potencial de deriva real da aplicação.

A ponta ULD entregou a maior quantidade de gotas finas deriváveis para todas as soluções herbicidas. Com relação às pontas TTI e ULDMax, as porcentagens de gotas deriváveis foram relativamente próximas, porém significativamente menores em quase todas as soluções utilizando a ponta ULDMax. As únicas soluções que não apresentaram diferença estatística para essas duas pontas foram a Água, BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v), BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v) e BAPMA + Mees 0,1% (v/v).

A solução de BAPMA + Glifosato K, sem a adição de adjuvantes, apresentou alta porcentagem de gotas finas deriváveis para todas as pontas, atingindo maiores valores para as pontas TTI e ULDMax. Além disso, com a adição do adjuvante Mees a 0,1% (v/v) na mistura reduziu-se significativamente a porcentagem de gotas deriváveis para as duas pontas.

De modo geral, ao comparar as soluções de dicamba BAPMA e DGA, em mistura ou não com glifosato, não se observou diferenças nos valores de V150, principalmente dentro das pontas TTI e ULD. Em estudo realizado por Jones et al. (2019), utilizando a ponta TTI, a porcentagem de gotas finas deriváveis (gotas $<210 \mu\text{m}$) para as formulações de BAPMA e DGA foi equivalente; sendo a deriva primária esperada para as duas formulações, a mesma. Entretanto, foi observado pelos autores que a distância na qual se pode observar injúria em soja sensível foi reduzida pela metade ao se utilizar BAPMA, quando comparado ao sal de dicamba DGA (JONES et al., 2019).

Para a ponta ULDMax, pode-se observar que as misturas com DGA resultaram em menores porcentagens de gotas finas, quando comparados com o sal BAPMA, sendo que, as soluções com diferenças estatísticas nessa comparação foram BAPMA + Mees 0,1%, BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1 % e BAPMA + Glifosato sem adição de adjuvante.

Tabela 12. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” de gotas finas deriváveis (V150)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.

Tratamentos	ULD025		TTI025		ULDMax025	
Água	10.18	ABa	2.37	Db	2.59	Ab
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	10.36	Aa	2.71	CDb	1.97	Bc
DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	9.24	CDa	2.77	CDb	1.82	Bc
DGA + Mees 0,1% (v/v)	9.45	BCa	3.52	Bb	2.12	Bc
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	9.62	ABCa	2.76	CDb	2.02	Bc
BAPMA + Glifosato K	9.71	ABCa	4.67	Ab	3.01	Ac
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	9.25	CDa	2.78	CDb	2.74	Ab
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	9.39	BCDa	2.49	CDb	2.09	Bb
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	8.63	Da	2.91	Cb	2.89	Ab

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Em geral, na pressão de 3 bar, a ponta ULD proporcionou uma quantidade de gotas deriváveis muito superior do que as outras pontas. A ponta ULDMax resultou em menor produção de gotas deriváveis em todas as soluções, com exceção do tratamento controle.

Ainda, pode-se observar, de maneira generalizada, que a adição dos adjuvantes Mees e Fluiflex, na mistura de dicamba com glifosato reduziram os valores de V150. Apesar dos adjuvantes terem apresentado comportamento semelhante, variando de acordo com a combinação de ponta e solução, o adjuvante Mees demonstrou uma ligeira vantagem sobre o Fluiflex, quando comparada as mesmas combinações alterando apenas os adjuvantes.

A menor porcentagem de gotas finas deriváveis foi encontrada para a combinação da ponta ULDMax e solução DGA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v); enquanto maior porcentagem foi observada para o tratamento DGA + Fluiflex 0,1% (v/v) e ponta ULD. Novamente, os resultados demonstraram que o espectro de gotas gerado por uma determinada ponta é dependente da mistura (MEYER et al., 2016).

Para a pressão de 5 bar, a ponta ULDMax sofreu maior variação dos resultados do que em pressão mais baixa, de 3 bar. Além disso, a variação observada para a mesma ponta na pressão de 5 bar foi a maior dentre as demais pontas (Tabela 13). Pode-se destacar, ainda, a solução de BAPMA + Glifosato K, sendo considerada o pior tratamento para as pontas TTI e ULDMax, com diferença significativa para as demais soluções.

Para a ponta ULD, maiores porcentagens de gotas finas foram encontradas para as misturas com Fluiflex 0,1% (v/v), sem adição de Glifosato K. As menores porcentagens ocorreram para as misturas contendo Glifosato K. Não se observou diferença entre as misturas

de sal DGA comparadas com o sal BAPMA. A menor porcentagem de gotas finas deriváveis para a ponta ULD foi obtida para a solução de BAPMA + Glifosato + Fluiflex 0,1% (v/v).

Com a ponta TTI, menores porcentagens foram obtidas para as misturas que continham o adjuvante Mees 0,1% (BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% e DGA + Glifosato K + Mees 0,1%). Comparando as misturas de BAPMA e DGA não foi observada nenhuma diferença estatística.

As menores porcentagens de gotas finas deriváveis para a ponta ULDMax foram obtidas em soluções sem glifosato K, com exceção de DGA + Glifosato k + Mees 0,1% (v/v). Nas comparações dos adjuvantes, só se observou diferença estatística entre as misturas de BAPMA + Glifosato k + Mees 0,1% e BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1%, sendo que a adição de Mees 0,1% (v/v) resultou em menor formação de gotas deriváveis.

Com relação aos sais de dicamba DGA e BAPMA, as associações com os adjuvantes resultaram em um melhor rendimento para cada um, sendo que a mistura com Fluiflex 0,1% (v/v) isolado proporcionou um melhor resultado para o sal BAPMA; enquanto a associação de Glifosato K + Mees 0,1% (v/v), para o sal DGA. Já para a solução de Mees 0,1% isolado com os dois herbicidas não houve diferença estatística.

Analisando o comportamento das pontas TTI e ULDMax, observou-se um equilíbrio, sendo que das nove soluções herbicidas testadas, oito foram diferentes estatisticamente, e cada ponta obteve melhor desempenho para quatro soluções. Outro ponto observado foi que a ponta TTI se destacou da ULDMax, principalmente nas soluções que contém glifosato K.

Tabela 13. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” de gotas finas deriváveis (V150)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.

Tratamentos	ULD025		TTI025		ULDMax025	
Água	16.79	Ba	4.19	CDc	5.59	Bb
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	18.11	Aa	5.57	Bb	4.45	CDc
DGA + Glifosato K + Mees 0,1%	14.21	Ca	4.02	CDb	3.55	Eb
DGA + Mees 0,1% (v/v)	17.69	ABa	5.27	Bb	4.02	DEc
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	18.46	Aa	5.74	Bb	3.77	Ec
BAPMA + Glifosato K	13.34	Ca	7.93	Ac	11.25	Ab
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	12.29	Da	4.46	Cc	5.75	Bb
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	13.55	Ca	3.91	Dc	4.98	Cb
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	17.07	Ba	5.21	Bb	3.64	Ec

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Novamente, a ponta ULD resultou em maiores valores de V150 entre as pontas; entretanto, na pressão de 5 bar a diferença dos resultados foi menor do que na pressão de 3 bar. Isso se destaca na solução de BAPMA + Glifosato K, para a qual os valores obtidos pelas três pontas, mesmo com diferença estatística, encontram-se mais próximos dentre todos os tratamentos estudados. De modo geral, na pressão de 5 bar, as misturas com o adjuvante Mees, na concentração de 0,1% (v/v), resultaram em menor formação de gotas deriváveis quando comparados ao Fluiflex, na mesma concentração.

Na comparação entre os herbicidas DGA e BAPMA, a geração de gotas menores do que 150 μm foram muito influenciadas pelo adjuvante, ponta e suas interações. Dessa forma, é preciso entender as combinações de ponta, pressão e solução, que promovem, ao mesmo tempo, menores valores de gotas finas deriváveis e maiores de DMV em comparação com uma tecnologia de referência. Tais ações definem técnicas ideais de redução de deriva (ANTUNIASSI et al., 2020).

3.3.3. Amplitude relativa ou Coeficiente de uniformidade (SPAN)

Pode-se observar na tabela abaixo que houve diferença entre os tratamentos estudados, entretanto não ocorreu interação para ponta *vs.* pressão e herbicida *vs.* ponta *vs.* pressão.

Tabela 14. Descrição da análise de variância (ANOVA), verificando a significância das variáveis e de suas interações, para o SPAN.

	X ²	GL	p-valor
herbicida	563.8	8	< 2.2e-16 *
ponta	60.03	2	9.204e-14 *
pressão	88.27	1	< 2.2e-16 *
herbicida:ponta	62.72	16	1.809e-07 *
herbicida:pressão	68.5	8	9.746e-12 *
ponta:pressão	3.71	2	0.1564
herbicida:ponta:pressão	15.23	16	0.5082

*Teste F significativo a 1% de probabilidade ($\alpha=0.01$)

Na figura abaixo pode-se observar a amplitude relativa para os tratamentos em cada ponta, nas duas pressões de trabalho (Figura 5).

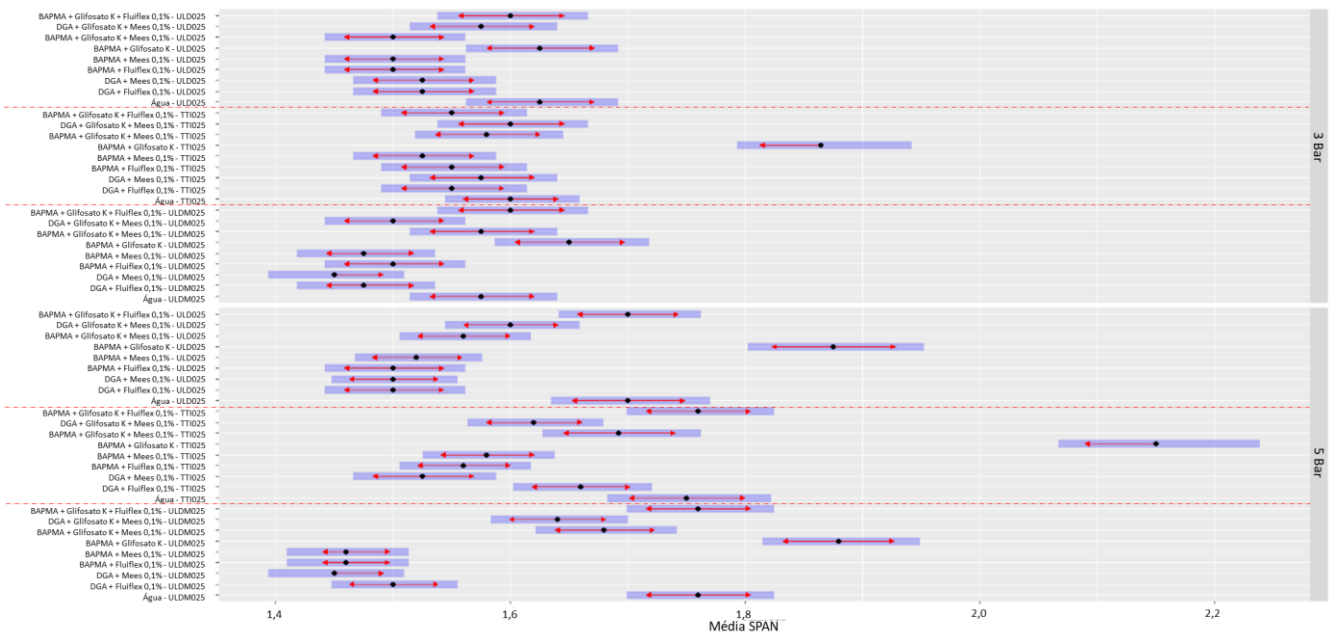


Figura 5. Coeficiente de uniformidade (SPAN) produzido por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes, nas pressões de 3 e 5 bar. Barras azuis correspondem ao intervalo de confiança e as setas vermelhas comparam os níveis dos fatores. Se as setas vermelhas se sobrepõem a diferença é não significativa pelo teste de Fisher e $\alpha=0,05$

Na Tabela 15 pode-se observar os resultados de SPAN para a pressão de 3 bar. Esse parâmetro indica a uniformidade de distribuição do tamanho de gotas, e seu valor geralmente está relacionado a mudanças na solução pulverizada (ALVES et al., 2017). Sendo assim, valores de SPAN próximos a um significam uma maior uniformidade das gotas pulverizadas.

No geral, menores coeficientes de uniformidade foram observados para os tratamentos com adição de adjuvantes e sem a presença do glifosato em mistura. A ponta TTI não apresentou alteração significativa do SPAN para as diferentes soluções, com a única exceção da mistura de BAPMA + Glifosato K. Entretanto, observou-se maior SPAN quando comparada com as outras duas pontas. Já para as pontas ULD e ULDMax, os valores de SPAN variaram significativamente entre as soluções.

Tabela 15. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do coeficiente de uniformidade (SPAN)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de três bar.

Tratamentos	ULD025	TTI025	ULDMax025
Água	1.62 Aa	1.6 Ba	1.57 ABa
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.52 BCa	1.55 Ba	1.48 Ca
DGA + Glifosato K+ Mees 0,1% (v/v)	1.57 ABCab	1.6 Ba	1.5 BCb
DGA + Mees 0,1% (v/v)	1.52 BCab	1.57 Ba	1.45 Cb
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.5 Ca	1.55 Ba	1.5 BCa
BAPMA + Glifosato K	1.62 Ab	1.86 Aa	1.65 Ab
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.6 ABa	1.55 Ba	1.6 Aa
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	1.5 Ca	1.58 Ba	1.57 ABa
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	1.5 Ca	1.52 Ba	1.48 Ca

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

O aumento da pressão destacou ainda mais a influência das diferentes soluções no desempenho de cada ponta. Essa variação com o aumento da pressão foi mais evidente para ponta TTI, que apresentou um comportamento padrão para todas as soluções na pressão de 3 bar. Contudo, ao se elevar a pressão para 5 bar, a maioria das soluções foram diferentes estatisticamente entre si. Novamente, a ponta TTI, de maneira geral, apresentou os maiores valores de SPAN quando comparada com as demais pontas (Tabela 16).

Tabela 16. Teste de médias de Fisher “Least Square Means” do coeficiente de uniformidade (SPAN)* dos tratamentos. Produzidos por diferentes tipos de pontas, em aplicações de dicamba sozinho ou em mistura com glifosato potássico e adjuvantes na pressão de cinco bar.

Tratamentos	ULD025	TTI025	ULDMax025
Água	1.7 Ba	1.75 BCa	1.76 Ba
DGA + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.5 Db	1.66 CDEa	1.5 Db
DGA + Glifosato K+ Mees 0,1% (v/v)	1.6 Ca	1.62 DEFa	1.64 Ca
DGA + Mees 0,1% (v/v)	1.5 Da	1.52 Ga	1.45 Da
BAPMA + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.5 Dab	1.56 FGa	1.46 Db
BAPMA + Glifosato K	1.88 Ab	2.15 Aa	1.88 Aa
BAPMA + Glifosato K + Fluiflex 0,1% (v/v)	1.7 Ba	1.76 Ba	1.76 Ba
BAPMA + Glifosato K + Mees 0,1% (v/v)	1.56 CDb	1.69 BCDa	1.68 BCa
BAPMA + Mees 0,1% (v/v)	1.52 Dab	1.58 EFGa	1.46 Db

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparando os tratamentos dentro das pontas) e minúscula na linha (comparando as pontas dentro dos tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

No geral, os adjuvantes aumentaram o DMV e reduziram o SPAN, demonstrando que são ferramentas importantes para redução do potencial de deriva. Entretanto, não existiu um

padrão de resposta entre as pontas estudadas. Como esperado, para a pressão de 5 bar, houve redução do DMV de gotas e aumento do SPAN (Figura 6).

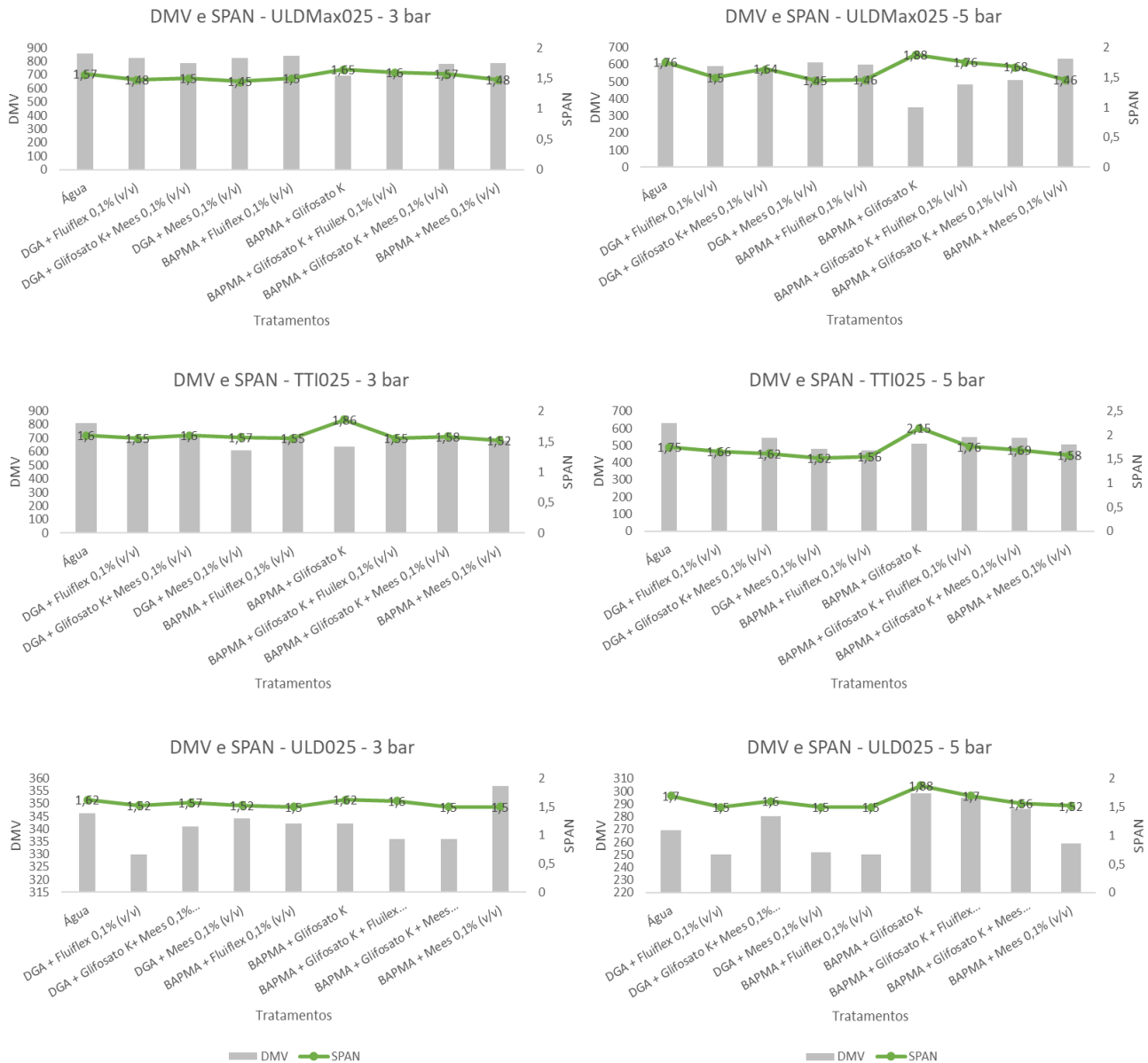


Figura 6. Relação entre DMV e SPAN nas diferentes pontas, soluções herbicidas e pressões. O gráfico de barras representa os valores do DMV e o de linhas o SPAN.

3.4. Conclusão

O espectro de gotas é dependente da interação entre solução, ponta e pressão, sendo necessário entender tais interações para a tomada de decisão. Entretanto, mesmo com a interação entre os fatores, é possível generalizar que a ponta ULDMax apresenta maiores DMV e menores

V150; seguida pela ponta TTI. A ponta ULD apresenta menores valores de DMV e maiores V150 para todas as combinações de pressão e soluções herbicidas.

Na comparação entre as formulações, o dicamba sal DGA e BAPMA demonstram comportamento de espectro de gotas semelhantes.

A adição dos adjuvantes Fluiflex e Mees reduz as gotas finas deriváveis e aumenta o DMV, com melhores resultados observados para Mees; enquanto a adição do glifosato potássico tem efeito contrário.

Com relação às pressões, a pressão de 5 bar resultou em maiores valores de V150, SPAN e menores DMV para todas as pontas.

Referências

- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A.; VIEIRA, B. C.; HENRY, R. S.; OBRADOVIC, A.; GRUJIC, M. Spray drift from dicamba and glyphosate applications in a wind tunnel. **Weed Technology** 31, no. 3 (2017): 387–395, <https://doi.org/10.1017/wet.2017.15>.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A.; SANTANA, D. G.; PINTO, L. A. T.; GUIMARÃES, F.; ZARIC, M. Dicamba spray drift as influenced by wind speed and nozzle type (2017). **Weed Technology** 31, no. 5: 724–731, <https://doi.org/10.1017/wet.2017.61>.
- ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; OVEJERO, R. F. L.; BARBOSA, H. N.; MORRIS, M. M.; ARAUJO, V. C. R. Droplet spectrum generated by air induction nozzles spraying solutions containing adjuvants and a tank mixture of glyphosate and dicamba (2020). **Pesticide formulation and delivery systems: 40th volume, formulation, application, and adjuvant innovation**. ed. C. M. Elsik (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020), 36–45. <http://doi.org/10.1520/STP162720190116>.
- ASAE ANSI/ASABE. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. American Society of Agricultural and Biological Engineers (2013) St. Joseph, MI.
- BASF. **Engenia herbicide** (2021). Disponível em: <https://agro.basf.us/campaigns/engenia/>. Acessado em: 20 junho 2021.
- BASF. **Engenia herbicide**. Summary of new application requirements for 2021 (2021). Disponível em: https://www.engeniaherbicide.com/content/dam/cxm/agriculture/engeniaherbicide/homepage/documents/BASF_Flyer_Engenia_Application_Changes_2021_highres.pdf. Acessado em: 20 junho 2021.
- BUTLER ELLIS, M.C.; TUCK, C.R.; MILLER, P. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** (2001), London, v.190, n.3, p.267-276, 2001.

- BUTTS, T. R. Droplet size impact on efficacy of a dicamba-plus-glyphosate mixture (2019). **Weed Technol.** 33, 66–74.
- CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA R.F.; FERNANDES H.C.; COURY J.R. **Droplet spectrum of standard flat fan and hollow cone spray nozzles.** *Pesq Agropec Bras.* 2004; 39:977-85.
- EPA. **Memorandum supporting decision to approve registration for the uses of dicamba on dicamba tolerant cotton and soybean** (2020). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/dicamba-decision_10-27-2020.pdf. Acessado em: 02 junho 2021.
- FERGUSON, J.C.; O'DONNELL, C. C.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; WANG, R.; FERREIRA, P. H. U.; HEWITT, A. J. Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel (2015). **Crop Protection** 76 (2015):1–6.
- HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction (2013). **Crop Protection**, London, v.44, n.1, p.75-83.
- JONES G.T, NORSWORTHY J.K.; BARBER T. GBUR E.; KRUGER, G.R. Off-target movement of DGA and BAPMA Dicamba to Sensitive soybean (2019). **Weed Technol.** 33:51–65. doi: 10.1017/wet.2018.121.
- MALVERN. **Malvern panalytical spraytec 10K spray particle and droplet size analyzer.** Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product range/spraytec>. Acessado em: 28 junho 2021.
- MALVERN. **Getting started—manual mastersizer** (1997). 1.3, United Kingdom, 1-183.
- MEYER, C. J., NORSWORTHY, J. K., KRUGER, G. R.; BARBER, T. L. Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and efficacy of engenia tank-mix combinations. **Weed Technol.** 30, 377–390 (2016).
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- SILVA, A. V.; FORTES, C.; LACERDA, M. P.; LEMOS, A. G.; MARCANTÔNIO, D. N. Current technologies for dicamba application in Brazil: reduced drift nozzles and MSO adjuvant (2019). **IX SINTAG - SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO.** 09 - 11 de setembro de 2019 Campo Grande/MS.

4. VOLATILIZAÇÃO DE DICAMBA ISOLADO E EM MISTURA COM FORMULAÇÕES DE GLIFOSATO EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Resumo

A introdução de genes resistentes ao dicamba em culturas de soja, milho e algodão, tende a aumentar sua utilização, principalmente em plantas daninhas de folha larga. Assim como outros herbicidas auxínicos, o dicamba é passível de volatilização e pode alcançar grandes distâncias de áreas adjacentes, provocando injúrias em culturas sensíveis. O objetivo deste estudo foi quantificar o potencial de volatilidade do sal de dicamba diglicolamina (DGA) em uma aplicação isolada, e em mistura em tanque com diferentes formulações de glifosato, com e sem redutor de volatilidade VaporGrip®, usando soja suscetível a este herbicida como bio-indicadora de injúria, em estrutura protegida de polietileno, a campo. Os parâmetros avaliados foram fitotoxicidade, distância em função da injúria observada, e área abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), aos 14 e 28 DAT. As aplicações foram realizadas em bandejas de 5 litros, a uma distância de 300 metros da área experimental e transferidas para as respectivas parcelas de soja. As parcelas foram cobertas por uma estrutura de plástico, semelhante a uma estufa de túnel baixo (“hoop house”), mantida sobre a parcela por 48h. No geral, maior fitotoxicidade foi provocada pelos tratamentos com dicamba que não receberam redutor de volatilidade VaporGrip®. Dentre os sais de glifosato utilizados, o sal de isopropilamina foi o que provocou menor incremento de volatilização, avaliado pela menor injúria nas plantas de soja adjacente, sendo que a adição de VaporGrip® à essa mistura não reduziu significativamente os sintomas observados. Os tratamentos DGA, seguido de DGA + VaporGrip®, DGA + glifosato sal de potássio e DGA + glifosato sal de amônio apresentaram injúria mais distante da bandeja de aplicação; sendo maior severidade observada nas faixas de distância mais próximas à bandeja de aplicação, diminuindo gradativamente com o aumento da distância. Maiores AACF foram observadas para os tratamentos DGA e DGA + glifosato sal de amônio, nos dois tempos de avaliação, seguidos por DGA + VaporGrip® e DGA + glifosato sal potássico. Os tratamentos DGA + glifosato isopropilamina, DGA + glifosato isopropilamina + VaporGrip® e DGA + glifosato di-amônio + VaporGrip® apresentaram menores AACF. Entretanto, a adição de VaporGrip® à mistura DGA + Glifosato sal de isopropilamina não resultou em menor volatilização; pelo contrário, foi observado maior AACF com a adição do adjuvante, aos 14 dias após o tratamento (DAT). Mesmo com injúrias aparentes na cultura da soja, não foi encontrada diferença estatística para a produtividade entre os tratamentos.

Palavras-chave: 1. Dicamba 2. Volatilidade 3. Glifosato 4. AACF

Abstract

Volatilization of dicamba alone and in tank-mixture with different glyphosate formulations under field conditions

The introduction of dicamba-resistant genes in soybean, corn and cotton crops tends to increase its use, especially in broadleaf weeds. Like other auxinic herbicides, dicamba is susceptible to volatilization and can reach large distances from adjacent areas, causing damage to sensitive crops.. The goal of this study was to quantify the volatility potential of dicamba diglycolamine (DGA) salt sprayed alone and in a tank mixture with different glyphosate salts formulations, with and without addition of VaporGrip®, using soybean as bioindicator of injury, in the field. The parameters evaluated were phytotoxicity, the correlation between distance and observed injury, and the area under disease injury (AUIDS) at 14 and 28 DAT. Applications were carried out in five liters trays containing untreated soil, 300 meters away from the experimental area, and then transferred to the respective soybean experimental plots. The experimental plots remained covered by a polyethylene structure called “hoop house” for 48 hours. In general, the higher phytotoxicity was caused by treatments that didn’t receive the adjuvant VaporGrip®. The addition of glyphosate in the tank-mixture did not

significantly increase the soybean injury. Among the glyphosate salts, the isopropylamine salt caused less damage in the adjacent soybean, and the addition of VaporGrip® to this mixture didn't significantly reduce the symptoms of injury observed. Higher distances of injury from the application tray were observed for the DGA treatment, followed by the DGA + VaporGrip®, DGA + glyphosate potassium salt and DGA + ammonium salt treatments, with higher severity occurring in the distance ranges closest to the application tray, and decreasing gradually with increasing distance. The highest AUIDS were observed for the treatments DGA and DGA + glyphosate ammonium salt, in both evaluation times, followed by DGA + VaporGrip® and DGA + glyphosate potassium salt. The treatments DGA + glyphosate isopropylamine, DGA + glyphosate isopropylamine + VaporGrip®, and DGA + glyphosate di-ammonium + VaporGrip® had lower AUIDS. However, the addition of VaporGrip® to the mixture DGA + glyphosate isopropylamine salt didn't reduce the volatilization; instead, higher AUIDS was observed with the addition of the adjuvant at 14 DAT. Even with apparent injuries in the soybean, no statistical difference was found for yield among the treatments.

Keywords: 1. Dicamba 2. Volatility 3. Glyphosate 4. AUIDS

4.1. Introdução

O herbicida dicamba tem sido utilizado intensivamente para o controle de plantas daninhas do tipo folha larga em culturas de grãos e pastagens, e assim como outros herbicidas auxínicos, é passível de volatilização e movimento para espécies de plantas sensíveis adjacentes, provocando injúria (BISH et al., 2019).

Além do movimento primário, que corresponde ao movimento das partículas que ocorre na hora da aplicação, o dicamba continua se movimentando após a aplicação, através de volatilização. Esse movimento, definido como secundário, pode ocorrer várias horas após a aplicação, havendo reportes de volatilização do sal na forma de sal DMA (dimetilamina) até três dias após a aplicação (JONES et al., 2019).

Até 2016, o dicamba era registrado para uso apenas em aplicações de pré-plantio e dessecação em soja. Entretanto, nesse mesmo ano, o uso em pós-emergência foi aprovado em soja e algodão nos Estados Unidos da América do Norte (EUA) pela Agência de Proteção ambiental (US Environmental Protection Agency -EPA). Dentre as novas formulações registradas para uso pós-emergente em culturas resistentes, está o sal DGA que inclui o ácido acético modificador de pH VaporGrip® (VG), conhecido comercialmente hoje, nos EUA, como FeXapan® plus VaporGrip® (CORTEVA), Tavium plus VaporGrip® (SYNGENTA) e XtendMax® with VaporGrip® (BAYER). Na bula dessas formulações podem ser encontradas restrições ao uso, como velocidade máxima do ar, proibição de uso durante inversão térmica, janela de aplicação de uma hora após o nascer do sol e duas horas antes do pôr do sol, etc. Além disso, recomenda-se também o uso de áreas tampões.

Cultivares resistentes ao dicamba foram gerados através da inserção de um gene proveniente de um microrganismo do solo chamado *Stenotrophomonas maltophilia*, conferindo alta

resistência em ambas as dicotiledôneas, algodão e soja; e monocotiledôneas, milho (Duke et al., 2014). A liberação de cultivares resistentes permite a aplicação pós-emergente de dicamba para o manejo de populações de plantas daninhas com resistência ao glifosato (grupo 9), herbicidas inibidores de ALS (grupo 2), e herbicidas inibidores de PPO (grupo 14) (EPA, 2020). Apesar da existência de programas alternativos para o controle de plantas daninhas de folha larga problemáticas, o número de opções de herbicidas pós-emergentes é muito limitado. Dessa maneira, o mecanismo de ação do dicamba é um sítio de ação alternativo importante para o manejo dessas populações resistentes. Entretanto, o aumento do uso de dicamba pode resultar no aumento de injúria em culturas adjacentes.

Relatos de injúria em vegetação sensível foram amplamente documentados nos Estados Unidos ao longo dos últimos anos, especialmente em áreas onde a adoção de cultivares resistentes de soja e algodão foi mais alta (BISH et al., 2020). Para reduzir a deriva de dicamba foram desenvolvidas formulações menos voláteis, uma delas com o sal de dicamba associado ao sal N,N-bis-(3-aminopropil)metil-amina (BAPMA); e a outra, uma forma antiga de dicamba, ligado ao sal diglicolamina (DGA), em conjunto com VaporGrip®. Frequentemente, dicamba é aplicado em combinação com glifosato em mistura em tanque para melhorar a eficiência e aumentar o espectro de controle das plantas daninhas. Contudo, a adição de glifosato à mistura pode levar ao aumento da deriva.

Assim como dicamba, glifosato também está disponível em diversas formulações, em função do tipo de sal. Estudos de deriva para novas formulações de dicamba em condições tropicais, e misturas em tanque com glifosato e adjuvantes, são fundamentais para compreender como a fitotoxicidade por dicamba pode ser reduzida em cenários de campo.

O objetivo deste estudo foi quantificar o potencial de volatilidade do dicamba sal de diglicolamina (DGA) em uma aplicação autônoma, e em mistura em tanque com diferentes sais de glifosato, assim como o efeito da adição de adjuvante redutor de volatilidade, VaporGrip®, às misturas de dicamba e glifosato.

4.2. Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no município de Santa Bárbara D'Oeste -SP, entre os meses de dezembro de 2019 a abril de 2020.

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento, totalizando 11 tratamentos. Para cada tratamento foi avaliado a fitotoxicidade em faixas de distâncias a partir da bandeja de solo na qual foi feita aplicação dos tratamentos. As

distâncias foram divididas em faixas de 20 cm a partir da bandeja, até 3 m (0-20; 20-40; 40-60; 60-80; 80-100; 100-120; 120-140; 140-160; 160-180; 180-200; 200-220; 220-240; 240-260; 260-280; 280-300; > 300 cm). Para cada faixa foram atribuídas quatro avaliações.

Os tratamentos utilizados no experimento estão apresentados na Tabela 17, e os produtos comerciais na Tabela 18. Importante ressaltar que a dose utilizada no trabalho foi quatro vezes a dose recomendada de bula, para todos os tratamentos, com o objetivo de potencializar a volatilização.

Tabela 17. Lista dos tratamentos com suas respectivas soluções herbicida, siglas, doses e concentração de VaporGrip® utilizados em mistura.

	Soluções	Abreviação	Dose (g ea/ha)	Concentração de VG % (v/v)
1	Controle (Água)	-	-	-
2	DGA	DGA	1.920	-
3	DGA+VaporGrip	DGA+VG	1.920	0,5
4	DGA+Glifosato sal de potássio	DGA+G(K)	1.920 + 3.840	-
5	DGA+Glifosato sal de potássio+ VaporGrip	DGA+G(K)+VG	1.920 + 3.840	0,5
6	DGA+Glifosato sal de amônio	DGA+G(A)	1.920 + 3.840	-
7	DGA+Glifosato sal de amônio+VaporGrip	DGA+G(A)+VG	1.920 + 3.840	0,5
8	DGA+Glifosato sal de di-amônio	DGA+G(Da)	1.920 + 3.840	-
9	DGA+Glifosato sal de di-amônio+VaporGrip	DGA+G(Da)+VG	1.920 + 3.840	0,5
10	DGA+Glifosato sal de isopropilamina	DGA+G(IPA)	1.920 + 3.840	-
11	DGA+Glifosato sal de isopropilamina+ VaporGrip	DGA+G(IPA)+VG	1.920 + 3.840	0,5

Tabela 18. Descrição dos herbicidas, nomes comerciais, fabricantes e concentrações em equivalente ácido utilizados no trabalho.

Herbicidas	Nome comercial	Fabricante	e.a. (g/L ou g/Kg)
Glifosato sal de potássio	Roundup Transorb R	Bayer	480
Glifosato sal de amônio	Roundup WG	Bayer	720
Glifosato sal de di-amônio	Roundup Original Mais	Bayer	480
Glifosato sal de isopropilamina	Roundup Transorb	Bayer	480
Dicamba sal de diglicolamina	Atectra	Basf	480

As aplicações foram realizadas em bandejas de 5 litros, com 23 cm de largura, 36 cm de comprimento e 6 cm de altura. Elas foram preenchidas com solo previamente peneirado, proveniente de uma área sem histórico de aplicação de defensivos, coletado no mesmo lugar em que o experimento foi conduzido. As características físico-químicas do solo utilizado estão descritas na tabela abaixo (Tabela 19). As bandejas contendo o solo foram irrigadas até a capacidade de campo na noite anterior à realização do ensaio.

Tabela 19. Características físico-químicas do solo utilizado na bandeja que recebeu aplicação dos tratamentos para o ensaio de volatilização de dicamba.

*Análise Química do Solo									*Análise granulométrica				
PH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%	Areia ¹	Silte	Argila	CT ²
CaCl ₂	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mmolc. dm ⁻³							(%)	(%)	(%)	
5,8	1,3	8,7	14,5	11,2	9,8	33,4	35,5	68,9	51,5	54,0	5,0	41,0	ARG-ARE ³

¹ Areia total (até 2,00 mm); ² Classe textural do solo; ³ ARGILO-ARENOSO. * Pirasolo.

As aplicações foram realizadas a uma distância de 300 metros da área experimental, com auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO₂, contendo barra de 2 bicos com pontas tipo leque TTI 11002, a uma pressão constante de 2,0 bar e volume de calda de 150 L ha⁻¹.

As condições meteorológicas no momento da aplicação eram: temperatura de 20°C, umidade relativa do ar 78%, vento 2,2 km/h, cobertura do céu em 25%, sendo capitados por um anemômetro digital. Logo após a aplicação, as bandejas foram transferidas para as respectivas parcelas de soja, e posicionadas no centro da parcela. Cada parcela continha três linhas de soja de 6 m de comprimento, espaçadas a 0,5 m, totalizando aproximadamente 12 plantas m⁻¹, e área total de 9 m². As plantas de soja da variedade 6410 Monsoy, com tecnologia intacta RR2 PRO, resistentes ao glifosato, estavam em estágio V4.

Após o posicionamento das bandejas, cada parcela foi coberta por uma estrutura de plástico, semelhante a uma estufa (“hoop house”) (Figura 7). A estufa, em forma triangular, foi mantida sobre a parcela por 48h, assim como as bandejas aplicadas. Essas estruturas foram desenvolvidas com uma armação de tubos PVC de 40 mm de diâmetro, com as seguintes dimensões: 1,5 metros de largura, 6,0 metros de comprimento e 1,0 metro de altura. As estufas foram revestidas com filme plástico difusor de 100 micron. A estufa foi posicionada paralelamente às três linhas de soja e para permitir o fluxo de ar, as laterais permaneceram abertas. Elas foram montadas em campo um dia antes da aplicação, orientadas de acordo com as linhas de soja, obedecendo a direção predominante do vento local.



Figura 7. Posicionamento das estufas de polietileno a campo, logo após a aplicação nas bandejas.

Para diminuir ainda mais a interação de volatilização entre os tratamentos, todas as parcelas foram organizadas de tal maneira que ficassem em diagonal uma com a outra, aumentando ainda mais a distância entre elas, como pode ser observado no croqui abaixo (Figura 8).

		11		22		33		44
5	5	10	7	TSA	9	3	7	2
4	4	9	6	11	8	2	8	3
3	3	8	5	10	7	TSA	9	4
2	2	7	4	9	6	11	10	5
1	1	6	3	8	5	10	11	6
	6	12	17	23	28	34	39	

Figura 8. Croqui da área com distribuição aleatória das parcelas experimentais a campo.

As condições meteorológicas durante todo o experimento estão descritas na Tabela 20. Não foi registrada chuva durante as 48 horas na qual a estufa foi mantida sobre a parcela experimental.

Tabela 20. Dados meteorológicos do período de realização do ensaio de soja com aplicação de dicamba, no local do ensaio, na cidade de Santa Bárbara D'Oeste-SP *

Meses	Precipitação (mm)	Vento ¹ (km h ⁻¹)	U.R.M. ² (%)	T.M. ³ (°C)
Novembro	201,7	6,84	75,6	23,2
Dezembro	92,5	6,12	69,2	25,2
Janeiro	145,8	5,04	73,6	26,2
Fevereiro	163,4	5,40	78,3	24,1
Março	112,5	6,00	77,3	25,6
Abril	128,6	5,86	75,4	26,7

¹ Vento médio; ² Umidade Relativa Média; ³ Temperatura Média * Dados coletados em uma estação meteorológica a 100 m da área experimental.

As avaliações de fitotoxicidade foram feitas aos 14 e 28 dias após a exposição da soja (DAT) à bandeja tratada com o herbicida, estudos anteriores demonstraram que em tais dias foram obtidos os maiores valores de injúria (EGAN; MORTENSEN, 2012; STRIEGEL et al., 2020; FERREIRA et al., 2020). As avaliações foram realizadas acima e abaixo da área onde as bandejas foram posicionadas, utilizando notas de injúria de 1 a 9, em faixas de 20 cm a partir da bandeja, e até 3m (Figura 9). As notas foram dadas de acordo com a escala de notas proposta pelo European Weed Research Council (EWRC), descritas na Tabela 21, adaptada por Melhorança (1984).

Aproximadamente aos 120 dias após plantio (DAP), foi realizada avaliação de produtividade de cada parcela, manualmente.

Tabela 21. Escala de notas de fitotoxicidade proposta pela EWRC (1964), e adaptada por Melhorança (1984)

Nota	Correlação (%)	Danos
1	0	Sem danos
2	1 - 10	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas
3	11 - 20	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em muitas plantas
4	21 - 30	Forte descoloração (amarelecimento) ou razoável deformação, sem, contudo, ocorrer necrose (morte do tecido)
5	31 - 40	Necrose (queima) de algumas folhas, em especial nas margens, acompanhadas de deformação em folhas
6	41 - 50	Mais de 50% das folhas apresentando necrose (deformação)
7	50 - 69	Mais de 80% das folhas destruídas
8	70 - 79	Danos extremamente graves, sobrando apenas pequenas áreas verdes nas plantas
9	80 - 100	Morte da planta

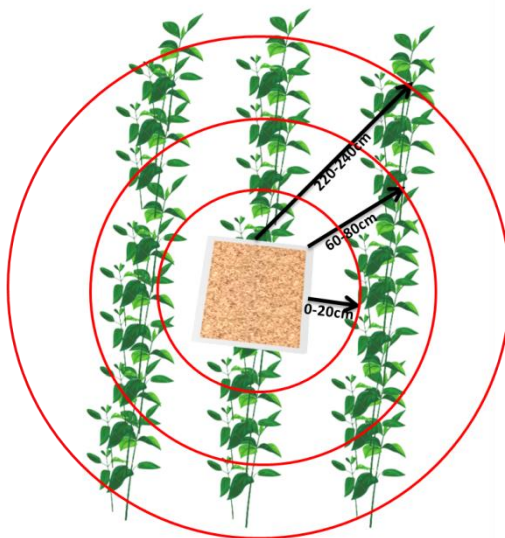


Figura 9. Esquema ilustrativo da avaliação de injúria, realizada a cada 20 cm da bandeja, até uma distância máxima de 3 metros.

4.2.1. Análise estatística

Todas as análises foram feitas utilizando o software estatístico R, versão 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021). Para cada análise foi ajustado um modelo linear misto com uma distribuição normal utilizando a função `lmer` do pacote “`lme4`”. Nos modelos, os tratamentos foram os efeitos fixos e repetições os efeitos aleatórios. As suposições do modelo foram avaliadas usando o teste qui-quadrado de Pearson para normalidade com o pacote “`nortest`”, e o teste de Levene para homogeneidade de variância com a função `leveneTest` do pacote “`car`”. A ANOVA (pacote “`car`”) foi realizada e as médias, quando significativas, foram separadas através do teste de Fisher Least Square Means (pacote “`emmeans`”), ao nível de 5% de probabilidade com a função “`cld`” do pacote “`multcomp`”.

Com relação aos dados de área abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), o pacote “`agricolae`” foi usado para calcular o valor absoluto da área sob as escadas de injúria do herbicida, que é uma adaptação da curva de progresso da doença (Striegel, S. et al., 2020). Um modelo linear misto com distribuição normal do pacote “`lme4`” foi ajustado aos dados de AACF para os 11 tratamentos e as distâncias em relação à bandeja de solo, na qual foi feita aplicação de cada tratamento, foram divididas em faixas de 20cm, até distância máxima de 3 metros. Os tratamentos foram considerados como efeitos fixo, enquanto as repetições efeitos aleatórios. As premissas do modelo foram avaliadas, e escolhida a que melhor se ajustou à análise do fenômeno. Uma transformação de raiz quadrada da variável de resposta atendeu satisfatoriamente aos pressupostos do modelo de normalidade e homogeneidade de variâncias. A ANOVA e o teste de

separação de médias foram feitos conforme descrito anteriormente. Para facilitar a interpretação, foram apresentadas as médias não transformadas.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Fitotoxicidade

Ao se analisar os dados de fitotoxicidade, foi observado diferença estatística para as duas datas de avaliação, 14 e 28 DAT, com p-valores de $6,187 \times 10^{-6}$ e 0,0052, respectivamente, para nível de significância de 5%. Sendo que as maiores médias de fitotoxicidade foram encontradas para todos os tratamentos aos 14 DAT, com exceção da mistura DGA + glifosato sal de amônio + VaporGrip® (DGA+G(A)+VG), que manteve o valor em ambos os dias de avaliação. Estudos anteriores com deriva de dicamba também apontaram que suas maiores notas de injúria na soja foram observados aos 14 DAT (AL KHATIB; DALLAS, 1999; FERREIRA et al., 2020).

Pode-se observar aos 14 DAT que todos os tratamentos apresentaram injúria, quando comparados ao controle (Tabela 22). No geral, maior fitotoxicidade foi provocada pelos tratamentos que não receberam redutor de volatilidade VaporGrip®. Porém, a adição de VaporGrip® reduziu significativamente a fitotoxicidade apenas para a solução contendo o dicamba sal DGA.

Tabela 22. Comparação de médias para os valores de fitotoxicidade na soja aos 14 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”.

Tratamentos	Média	DesvPad	GL	Intervalo de confiança		Grupo*
DGA	2.25	0.154	248	1.947	2.55	a
DGA + Glifosato sal de amônio	2.05	0.154	248	1.747	2.35	ab
DGA + Glifosato sal de potássio	1.85	0.154	248	1.547	2.15	abc
DGA + VaporGrip	1.82	0.154	248	1.514	2.12	bc
DGA + Glifosato sal de di-amônio	1.72	0.154	248	1.414	2.02	bc
DGA + Glifosato sal de amônio + VaporGrip	1.65	0.154	248	1.347	1.95	bc
DGA + Glifosato sal de potássio + VaporGrip	1.63	0.154	248	1.331	1.94	bc
DGA + Glifosato sal de di-amônio + VaporGrip	1.58	0.154	248	1.281	1.89	c
DGA + Glifosato sal de isopropilamina	1.57	0.154	248	1.264	1.87	c
DGA + Glifosato sal de isopropilamina + VaporGrip	1.5	0.154	248	1.197	1.8	c
Controle	1	0.154	248	0.697	1.3	d

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Na Figura 10, pode-se observar a variação para a severidade da injúria, provocada por cada tratamento, aos 14 e 28 DAT. Notas maiores representam danos mais graves; e os

tratamentos com maiores notas de severidade foram DGA e DGA + Glifosato sal de amônio (DGA+G(A)), para ambas as datas.

A adição de glifosato não resultou em aumento significativo dos danos observados. Dentro os sais de glifosato utilizados, o sal de isopropilamina foi o que provocou menor injúria na soja adjacente, sendo que a adição de VaporGrip® à essa mistura não reduziu significativamente os sintomas observados. Apesar disso, o sal de isopropilamina não é recomendado em bula para misturas com BAPMA (Engenia®/BASF) e DGA+VG (Xtendimax®/BAYER).

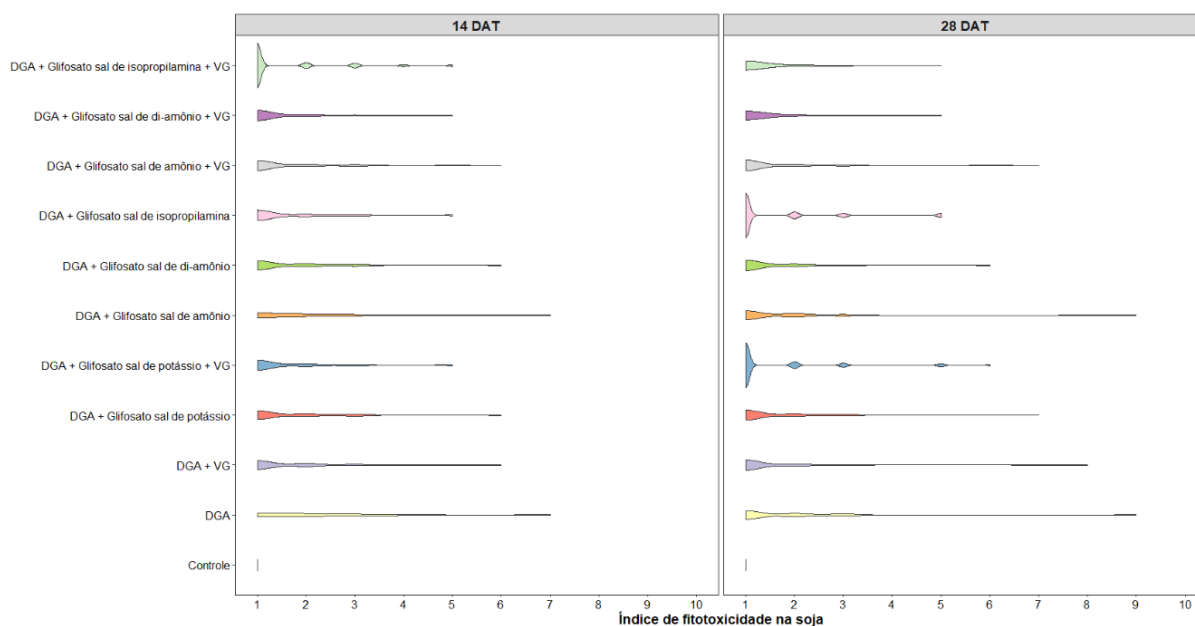


Figura 10. Gráfico com o índice de fitotoxicidade na soja, de acordo com as notas proposta pelo European Weed Research Council (EWRC) e adaptadas por Melhorança (1984). Quanto maior a largura do gráfico maior a incidência de notas para o determinado tratamento.

No geral, maior fitotoxicidade foi provocada pelos tratamentos que não receberam redutor de volatilidade VaporGrip®, sendo encontrado principalmente sintoma em formato de concha das folhas, conhecido também como “leaf cupping” (Figura 11). Esse resultado está de acordo com o observado por Mueller e Steckler (2019), na qual a adição de redutor de volatilidade na mistura em tanque foi eficaz na redução da volatilização do sal e dicamba DGA, independentemente da superfície pulverizada e da mistura em tanque, tornando a aplicação do dicamba mais segura do ponto de vista da volatilização. Entretanto, a adição de VaporGrip® às misturas DGA+Glifosato sal de amônio (DGA+G(A)), DGA + Glifosato sal de di-amônio (DGA+G(Da)), DGA + Glifosato sal de potássio (DGA+G(K)) e DGA + Glifosato sal de isopropilamina (DGA+G(IPA)) não reduziu significativamente a injúria observada.



Figura 11. Sintoma de “leaf cupping” encontrado nas plantas de soja, como resultado da volatilização de dicamba.

Aos 28 dias após a aplicação, pode-se observar que os tratamentos DGA + Glifosato sal de di-amônio + VaporGrip® (DGA+G(Da)+VG) e DGA + Glifosato sal de isopropilamina + VaporGrip® (DGA+G(IPA)+VG) não se diferenciaram do tratamento controle, o que significa que a injúria observada na soja não foi significativa; sendo que a adição de VaporGrip® resultou em menor fitotoxicidade observada. Maiores danos foram observados para o DGA sozinho, seguidos de DGA + Glifosato sal de amônio (DGA+G(A)) e DGA + VaporGrip® (DGA+VG), respectivamente (Tabela 23).

Tabela 23. Comparação de médias para os valores de fitotoxicidade na soja aos 28 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”.

Tratamentos	Médi a	DesvPa d	GL	Intervalo de confiança		Grupo*
DGA	2.03	0.174	248	1.692	2.38	a
DGA + Glifosato sal de amônio	1.93	0.174	248	1.592	2.28	ab
DGA + VaporGrip	1.75	0.174	248	1.408	2.09	abc
DGA + Glifosato sal de potássio	1.73	0.174	248	1.392	2.08	abc
DGA + Glifosato sal de amônio + VaporGrip	1.65	0.174	248	1.308	1.99	abc
DGA + Glifosato sal de di-amônio	1.58	0.174	248	1.242	1.93	abc
DGA + Glifosato sal de potássio + VaporGrip	1.53	0.174	248	1.192	1.88	bc
DGA + Glifosato sal de isopropilamina	1.52	0.174	248	1.175	1.86	bc
DGA + Glifosato sal de di-amônio + VaporGrip	1.45	0.174	248	1.108	1.79	cd
DGA + Glifosato sal de isopropilamina + VaporGrip	1.43	0.174	248	1.092	1.78	cd
Controle	1	0.174	248	0.658	1.34	d

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

4.3.2. Injúria em função da distância observada

Estudos recentes apontaram injúria em soja não resistente a dicamba a uma distância de 250 metros do local onde foi realizada a aplicação, sob condição de campo (SOLTANI et al.,

2020). Sabe-se, ainda, que a deriva de dicamba, dependendo da sua formulação e condições climáticas, podem alcançar até aproximadamente cinco quilômetros (OSIPITAN et al., 2019).

É difícil quantificar a proporção de injúria causada pela deriva primária e secundária. De acordo com Bish et al. (2020), as variáveis que afetam a deriva secundária são mais difíceis de se caracterizar quando comparadas à deriva primária. Nesse estudo foi possível aferir a injúria provocada pela deriva secundária, através da avaliação dos danos em relação à distância da bandeja de aplicação.

Estudos demonstram que, apesar do sal DGA ser menos volátil do que formulações mais antigas, como o DMA (MUELLER et al., 2013), sintomas ainda foram identificados a 20 m da área de aplicação por Egan e Mortensen (2012), em um experimento feito em parcela de apenas 0.033 ha. Em áreas maiores, a volatilização tende a ser potencializada, como resultado da maior proporção de sal sujeito à volatilização (JONES et al., 2019). É importante ressaltar que a injúria foi observada em parcela experimental de 9m², e protegida pela estrutura de polietileno, o que diminui a influência do vento.

Na Figura 12 pode-se observar a injúria em função da distância observada para cada tratamento, aos 14 e 28 DAT. Aos 14 DAT as maiores distância de injúria foram observadas para os tratamentos DGA, com 1,61 – 1,8 metros, sendo seguida pelos tratamentos de DGA + VaporGrip® (DGA+VG), DGA + Glifosato sal de potássio (DGA+G(K)) e DGA + Glifosato sal de amônio (DGA+G(A)), todos com 1,21-1,40 metros de distância da bandeja (Figura 12, A). Aos 28 DAT, observou-se novamente que os mesmos tratamentos; DGA, DGA+VG, DGA+G(K) e DGA+G(A), obtiveram as maiores distâncias de injúria, porém para todos eles as distâncias de fitotoxicidade foram menores quando comparada aos 14 DAT (Figura 12, B).

Ainda na Figura 12, é possível observar que maior severidade ocorreu nas faixas de distância mais próximas à bandeja de aplicação, e foram diminuindo com o aumento da distância. Aos 14 DAT (Figura 12, A), a maior nota observada foi sete (tratamento DGA), que corresponde ao sintoma de mais de 80% de folhas destruídas, segundo a escala de notas de fitotoxicidade EWRC adaptada (Figura 13). Aos 28 DAT, notou-se um progresso da fitotoxicidade observada para os tratamentos DGA, DGA + VaporGrip® (DGA+VG), DGA + Glifosato sal de amônio (DGA+G(A)) e DGA + Glifosato sal de amônio + VaporGrip® (DGA+G(A)+VG), com nota máxima de nove para o tratamento DGA sozinho (Figura 12, B). O progresso da injúria aos 28 DAT ocorreu apenas nas plantas de soja mais próximas ao local de aplicação, na faixa de 0-20 cm. Isso sugere que os tratamentos com dicamba sal DGA sozinho e/ou associado com glifosato sal de amônio se mantiveram em uma concentração maior e/ou por mais tempo próximos do local de aplicação.

De acordo com Jones et al. (2019), a deriva primária pode ser controlada de maneira adequada através do estabelecimento de áreas tampão e práticas de aplicação, mas o movimento secundário, como, por exemplo, aquele que ocorre horas após a aplicação, através de volatilidade, não é facilmente resolvido.

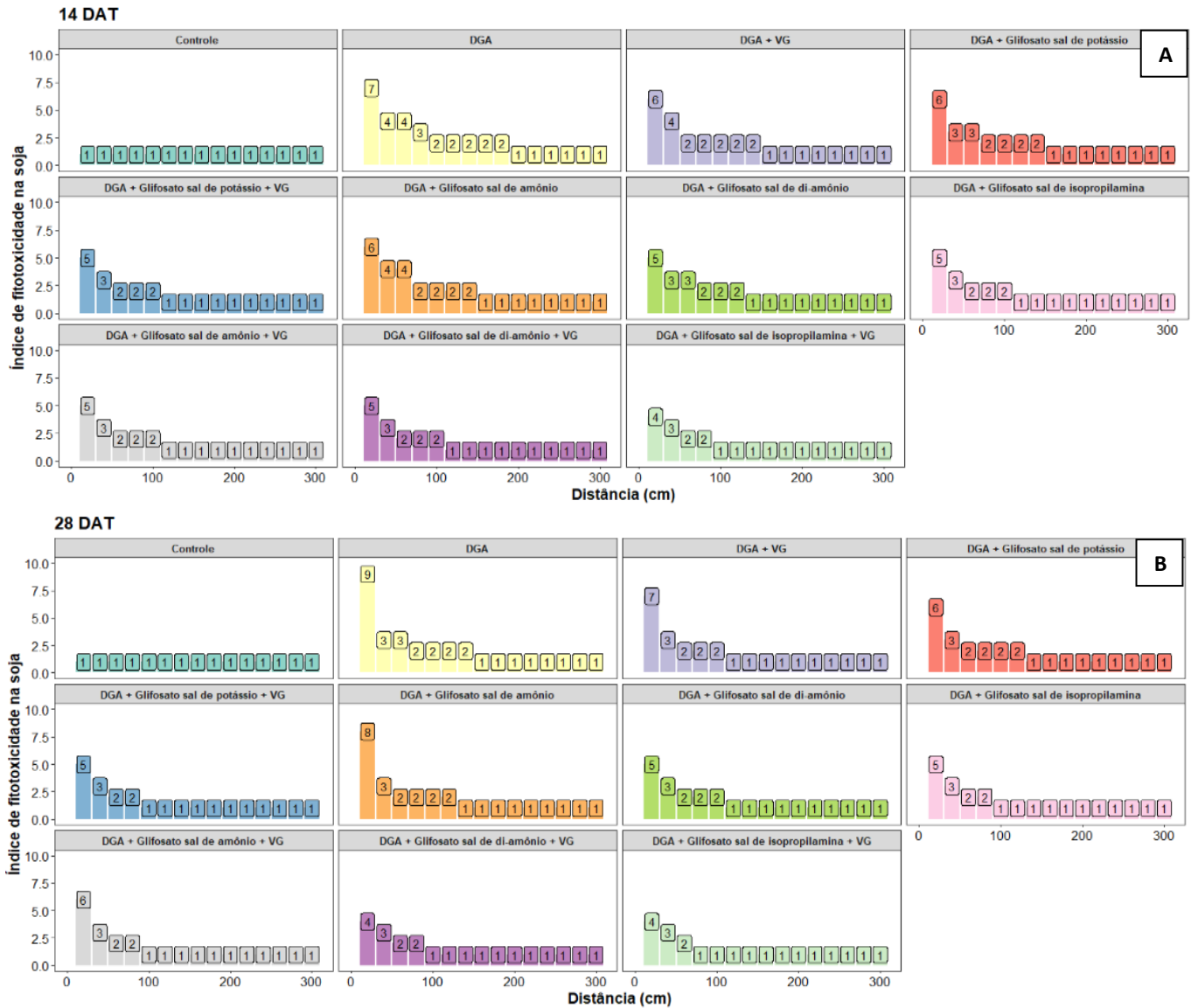


Figura 12. Gráfico de barras correlacionando as notas de fitotoxicidade (EWRC adaptada por Melhorança, 1984) com a distância de aplicação para os tratamentos aos 14 (A) e 28 DAT (B).

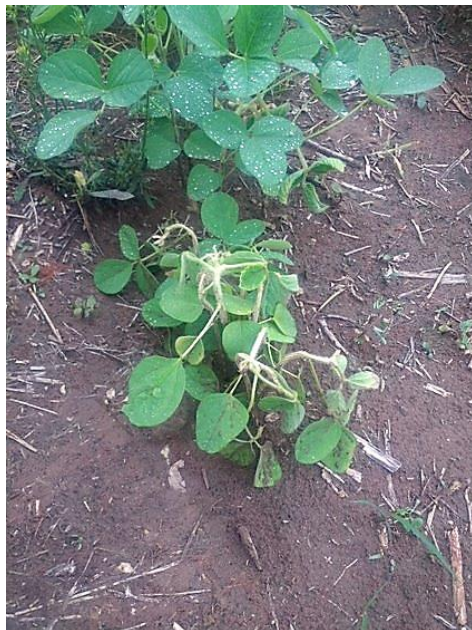


Figura 13. Sintoma de epinastia das plantas mais próximas ao local de aplicação (faixa de 0-20 cm), nota sete de acordo com a escala de fitotoxicidade de EWRC adaptada por Melhorança (1984).

4.3.3. Área abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF)

Os dados de injúria para cada uma das faixas de distância avaliadas, de 0-20 até >300 cm a partir da bandeja, coletados aos 14 e 28 DAT, foram usados para calcular a área abaixo da curva de fitotoxicidade, também chamada de AACF (“Area Under Injury over Distance Stairs” - AUIDS), que é uma adaptação da curva de progresso de doença (STRIEGEL et al., 2020). Dessa maneira, as curvas de injúria em função das distâncias observadas para cada tratamento foram traçadas e, posteriormente, foram analisadas as áreas abaixo de cada curva (Figura 14).

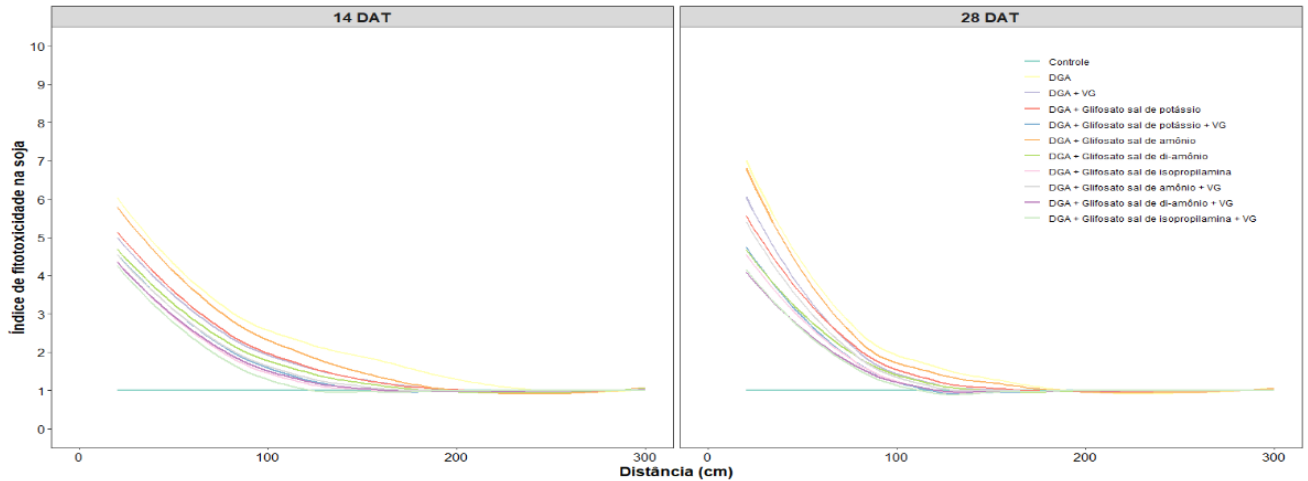


Figura 14. Curva de injúria representada pelas notas de fitotoxicidade em função das diferentes distâncias de avaliação para cada tratamento, aos 14 e 28 DAT. Cada curva possui uma cor que representa seu respectivo tratamento.

Os valores de AACF foram padronizados em referência ao respectivo valor médio do tratamento controle e representam a variável resposta. Dessa maneira, a testemunha que apresenta nota um (sem danos) em todas as faixas de distâncias avaliadas, acumula uma área abaixo da curva de 300 cm^2 . Ao se analisar a AACF para os tratamentos herbicidas foi desconsiderada a área de 300 cm^2 da testemunha, conforme observado na Figura 15.

Abaixo, observa-se a AACF para o tratamento DGA sozinho, aos 14 DAT, onde os valores foram padronizados em referência ao respectivo valor médio do tratamento controle.

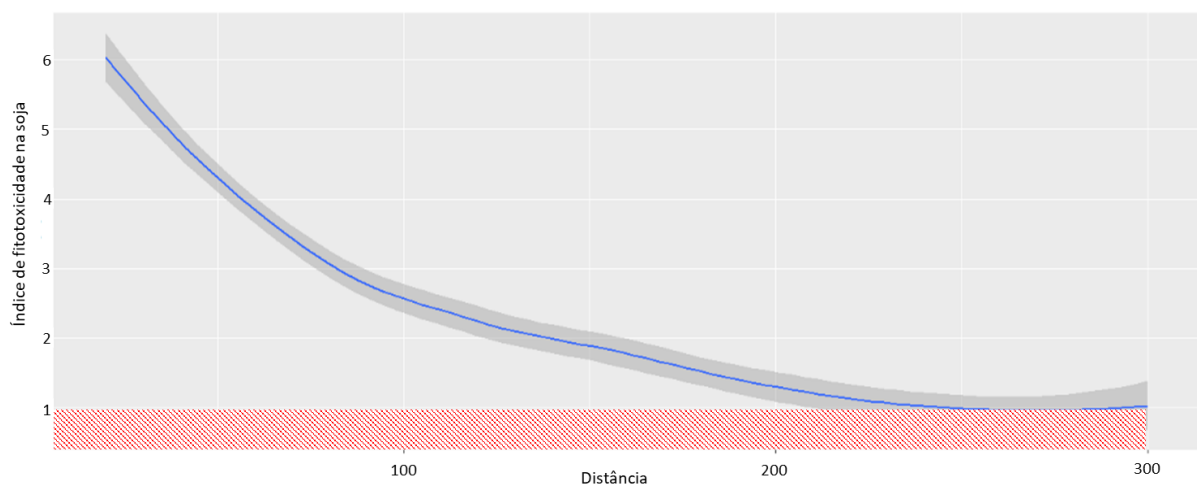


Figura 15. Curva das notas de fitotoxicidade relacionados às diferentes distâncias de avaliação para o tratamento Dicamba (DGA), aos 14 DAT. A faixa vermelha corresponde à área de 300 cm^2 do tratamento controle, que foi subtraída do valor de área total.

Maiores AACF foram observadas para os tratamentos DGA e DGA + glifosato sal de amônio (DGA+G(A)), nos dois tempos de avaliação, seguidos por DGA + VaporGrip® (DGA+VG) e DGA + glifosato sal potássico (DGA+G(K)). Os tratamentos DGA + glifosato isopropilamina (DGA+G(IPA)), DGA + glifosato isopropilamina + VaporGrip® (DGA+G(IPA)+VG) e DGA + glifosato di-amônio + VaporGrip® (DGA+G(Da)+VG) apresentaram menores AACF (Figura 16).

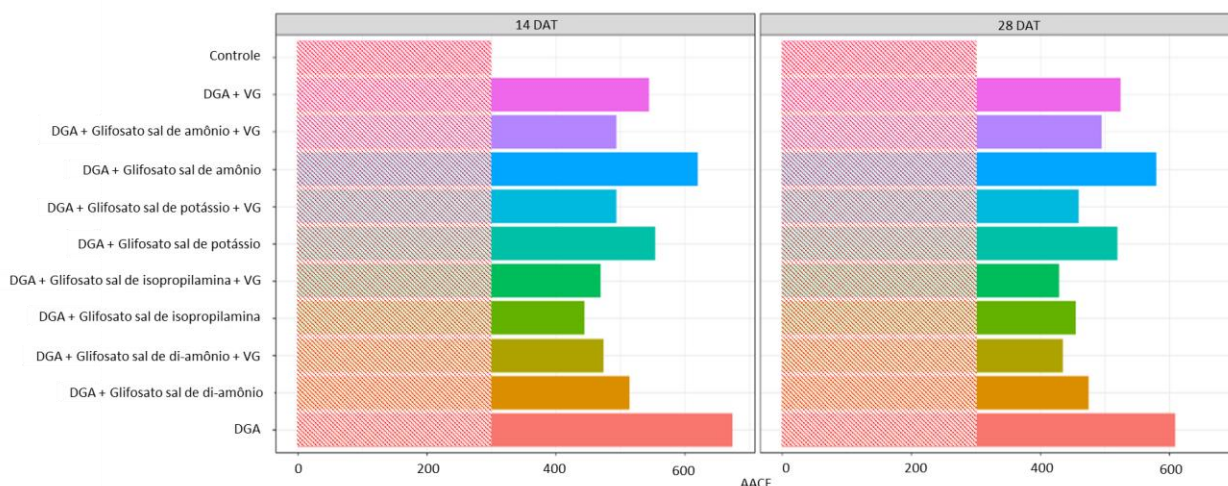


Figura 16. Gráfico da AACF para os tratamentos, em cm², aos 14 e 28 DAT. A faixa vermelha corresponde a área de 300 cm² do tratamento controle, que foi subtraída do valor total de área em cada tratamento.

Contudo, a adição de VG à mistura DGA + Glifosato sal de isopropilamina não resultou em menor volatilização; pelo contrário, foi observado maior AACF com a adição do adjuvante aos 14 DAT. A adição de glifosato ao dicamba sal de DGA não resultou em maior AACF (Tabela 24).

Resultado semelhante foi observado por Striegel et al. (2020), na qual a adição de glifosato em mistura de dicamba não influenciou a AACF em experimento usando estufa de túnel baixo no campo, embora, de acordo com os autores, a adição de glifosato na mistura aos herbicidas auxínicos, 2,4-D e dicamba, reduziu de maneira significativa o pH da solução. Segundo os autores, a injúria observada foi associada especialmente à alta temperatura (> 29°C), e baixa velocidade do vento (0,3 – 1,5 m.s⁻¹) durante as 48h após ter sido realizada a aplicação (STRIEGEL et al., 2020).

O mesmo foi observado por Bish et al., (2019), avaliando amostras de ar coletadas após aplicação de DGA + VaporGrip® (DGA + VG), em mistura com glifosato potássico, em atmosfera estável, próximo ao pôr do sol; e instável, quando feita durante o dia. Em condições de atmosfera instável, a concentração média de dicamba observada foi de 8.4 ng m⁻³ nas primeiras 8

horas após aplicação, e 4.2 ng m^{-3} nas horas seguintes (48 a 72 horas); enquanto que em atmosfera estável a concentração foi maior nas primeiras horas (25 ng m^{-3}), mas rapidamente caíram para níveis menores do que os observados na aplicação feita sob atmosfera instável. De 8 a 16 e de 16 a 24 horas, as aplicações noturnas tiveram níveis semelhantes de dicamba de 3,8 e $4,5 \text{ ng m}^{-3}$, respectivamente, e as concentrações diminuíram para $<1,5 \text{ ng m}^{-3}$ de 24 a 48 e de 48 a 72 horas após aplicação. Os dados apontaram que mesmo novas formulações de dicamba podem volatilizar por até 72 horas após aplicação, além disso, as concentrações podem ser até três vezes maiores em condições de atmosfera estável (BISH et al., 2019).

Como os túneis criam um microclima favorável à volatilização ao restringir o fluxo de ar e a mistura vertical do ar, isso deve ser considerado na interpretação da injúria observada na soja, assim como a análise das condições climáticas observadas durante o experimento.

Analisando a Tabela 24, pode-se concluir que a adição de VG foi importante para reduzir a AACF em mistura com todos os sais de glifosato utilizados nesse estudo, com única exceção do sal de isopropilamina. A mistura com glifosato sal de isopropilamina apresentou a menor AACF, mesmo sem a adição do redutor de deriva.

Tabela 24. Comparação de médias das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF) aos 14 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”.

Tratamentos	Média	DesvPad	GL	Intervalo de confiança		Grupo*
DGA	3.75	0.11	5.06	3.47	4.03	a
DGA+Glifosato sal de amônio	3.20	0.11	5.06	2.92	3.48	b
DGA+Glifosato sal de potássio	2.55	0.11	5.06	2.27	2.83	c
DGA+VaporGrip	2.45	0.11	5.06	2.17	2.73	c
DGA+Glifosato sal de di-amônio	2.15	0.11	5.06	1.87	2.43	d
DGA+Glifosato sal de potássio+VaporGrip	1.95	0.11	5.06	1.67	2.23	e
DGA+Glifosato sal de amônio+VaporGrip	1.95	0.11	5.06	1.67	2.23	e
DGA+Glifosato sal de di-amônio+VaporGrip	1.75	0.11	5.06	1.47	2.03	f
DGA+Glifosato sal de isopropilamina+VaporGrip	1.70	0.11	5.06	1.42	1.98	f
DGA+Glifosato sal de isopropilamina	1.45	0.11	5.06	1.17	1.73	g

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Nas Figuras 17 e 18, pode-se observar a AACF aos 14 e 28 DAT, respectivamente, sendo que, no geral, a adição de VG reduziu a AACF observada.

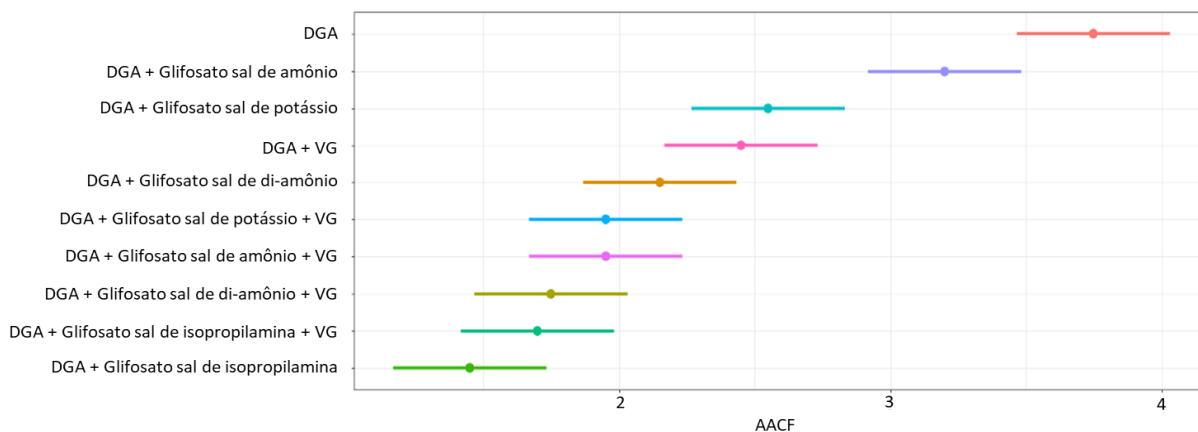


Figura 17. Valores das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), representados em forma de barras horizontais com suas médias e intervalo de confiança, aos 14 DAT, em m².

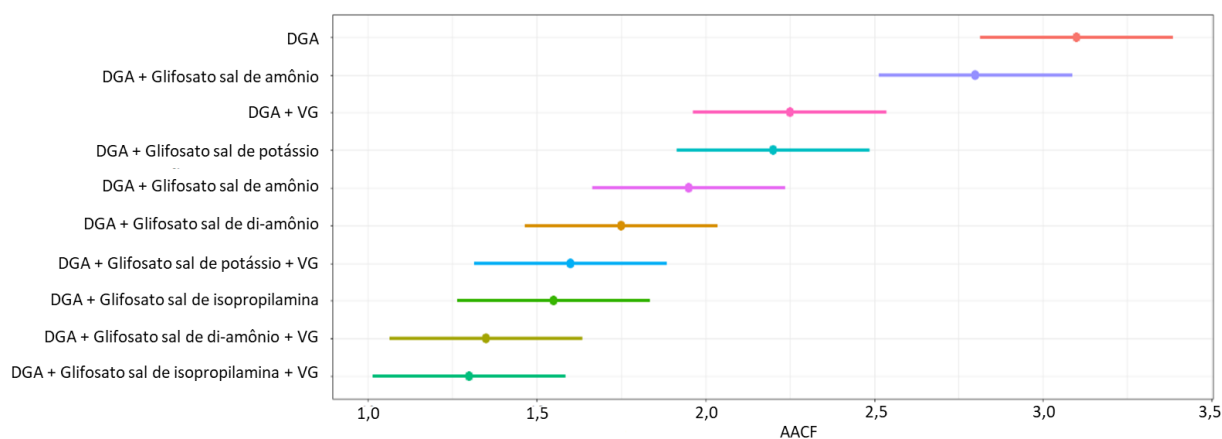


Figura 18. Valores das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF), representados em forma de barras horizontais com suas médias e intervalo de confiança, aos 28 DAT, em m².

Ao se observar a Tabela 25, pode-se concluir que a adição de VG foi importante para reduzir a AACF em mistura com todos os sais de glifosato utilizados nesse estudo, incluindo a mistura com glifosato sal de isopropilamina, aos 28 DAT. A adição de glifosato ao DGA não resultou em maior AACF quando comparado ao DGA sozinho e DGA+VG, com exceção do sal de amônio.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mueller e Steckler (2019). Eles avaliaram a volatilização das misturas DGA + glifosato sal potássico, DGA+VG e DGA + glifosato sal potássico+VG em diferentes superfícies e temperaturas e concluíram que DGA aplicado isoladamente apresentou o maior nível de volatilidade quando aplicado em solo úmido e o menor nível de volatilidade em solo seco e palha. Em solo arenoso, os autores observaram que a volatilização de DGA + glifosato e DGA + glifosato + VG foram maiores do que a observada em DGA+ VG em todas as temperaturas testadas, indicando que o uso de glifosato em mistura tende a aumentar a volatilização de dicamba. Eles também observaram que a mistura DGA +

glifosato potássico mostrou volatilidade semelhante em todas as superfícies avaliadas, solo seco, solo úmido e palha; enquanto o DGA aplicado isoladamente apresentou o maior nível de volatilidade em solo úmido e o menor em solo seco e palha, concluindo que o redutor de volatilidade na mistura do tanque foi eficaz na redução da volatilização de dicamba, independentemente da superfície pulverizada e da mistura em tanque, o que torna a aplicação de dicamba mais segura do ponto de vista de volatilização. Sendo assim, o VaporGrip® pode ser utilizado com técnica de redução de deriva.

Tabela 25. Comparação de médias das áreas abaixo da curva de fitotoxicidade (AACF) aos 28 DAT, através do teste de Fisher “Least Square Means”.

Tratamentos	Média	DesvPad	GL	Intervalo de confiança		Grupo*
DGA	3.10	0.0988	3.62	2.81	3.39	a
DGA + Glifosato sal de amônio	2.80	0.0988	3.62	2.51	3.09	b
DGA + VaporGrip	2.25	0.0988	3.62	1.96	2.54	c
DGA + Glifosato sal de potássio	2.20	0.0988	3.62	1.91	2.49	c
DGA + Glifosato sal de amônio + VaporGrip	1.95	0.0988	3.62	1.66	2.24	d
DGA + Glifosato sal de di-amônio	1.75	0.0988	3.62	1.46	2.04	e
DGA + Glifosato sal de potássio + VaporGrip	1.60	0.0988	3.62	1.31	1.89	f
DGA + Glifosato sal de isopropilamina	1.55	0.0988	3.62	1.26	1.84	f
DGA + Glifosato sal de di-amônio + VaporGrip	1.35	0.0988	3.62	1.06	1.64	g
DGA + Glifosato sal de isopropilamina + Vapor Grip	1.30	0.0988	3.62	1.01	1.59	g

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

4.3.4. Produtividade

Com relação à produtividade, não foi observada diferença estatística entre os tratamentos (p-valor de 0,3147). Mesmo assim, menor valor médio de produtividade foi observado para o tratamento DGA + glifosato sal de di-amônio (DGA+G(Da)), sem a adição de VaporGrip®. A não diferença estatística encontrada entre os tratamentos infere que os danos causados pela volatilização, principalmente nas plantas próximas ao local de aplicação, não foram severos suficientes para afetar a produtividade da soja. Isso pode ter ocorrido pelo fato do volume do solo que continha a solução herbicida ter apenas cinco litros (volume da bandeja), sendo que áreas maiores, a volatilização tende a ser potencializada, podendo afetar assim a produtividade.

Tabela 26. Comparação de médias para os valores de produtividade de soja, aos 120 dias após o plantio, através do teste de Fisher “Least Square Means”.

Tratamentos	Média	DesvPad	GL	Intervalo de confiança		Grupo*
DGA+Glifosato sal de potássio+VaporGrip	4671.1	260.97	8.8099	4078.8	5263.4	a
DGA+Glifosato sal de amônio+VaporGrip	4659.8	260.97	8.8099	4067.5	5252.1	a
DGA+Glifosato sal de isopropilamina	4603.9	260.97	8.8099	4011.6	5196.2	ab
DGA+VaporGrip	4481.8	260.97	8.8099	3889.5	5074.1	ab
DGA+Glifosato sal de di-amônio+VaporGrip	4454.1	260.97	8.8099	3861.8	5046.4	ab
DGA+Glifosato sal de potássio	4435.4	260.97	8.8099	3843.1	5027.7	ab
DGA	4372.1	260.97	8.8099	3779.8	4964.4	ab
Controle	4287.9	260.97	8.8099	3695.6	4880.2	ab
DGA+Glifosato sal de amônio	4281.8	260.97	8.8099	3689.5	4874.1	ab
DGA+Glifosato sal de isopropilamina+VaporGrip	4168.5	260.97	8.8099	3576.2	4760.8	ab
DGA+Glifosato sal de di-amônio	4087.9	260.97	8.8099	3495.6	4680.2	ab

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Apesar desse estudo não ter apontado diferença estatística entre os tratamentos e o controle, trabalho recente demonstra diferença na produtividade de soja em função da volatilização de dicamba sal BAPMA, associado a diferentes adjuvantes, glifosato potássico e saflufenacil (FERREIRA et al., 2020). Os autores observaram que o tratamento de dicamba + Fluiflex obteve o maior valor de produtividade, enquanto o tratamento de dicamba + glifosato sal de potássio + LI700 (lecitina+ácido propiônico) apontou a menor produtividade.

Entretanto, esse estudo demonstrou que a maior produtividade, apesar de não ser significativa, foi observada para mistura de dicamba sal DGA + Glifosato sal de potássio + VaporGrip® (DGA + G(K) + VG) (Figura 19).

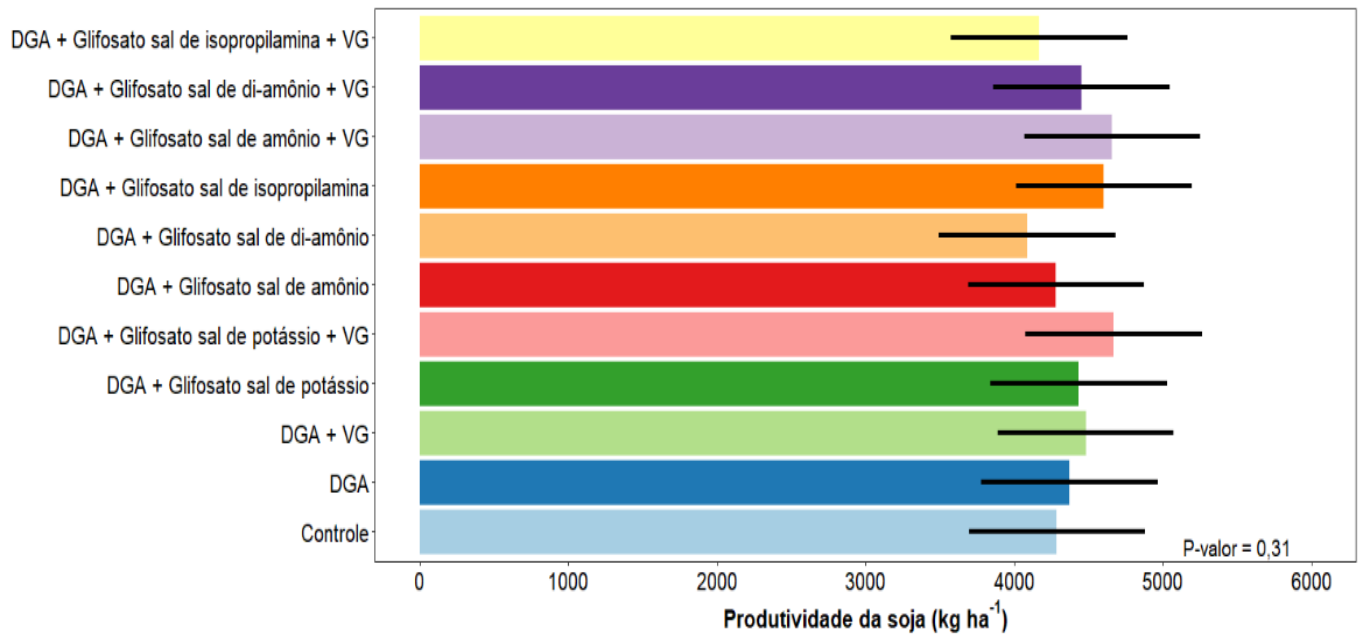


Figura 19. Gráfico de barra com a média e o intervalo de confiança para a produtividade da soja em kg/ha aos 120 dias.

4.4. Conclusão

A adição do redutor de volatilidade VaporGrip® diminui a fitotoxicidade na soja e a AACF. Os tratamentos que apresentam os menores valores de fitotoxicidade e AACF são misturas de DGA + glifosato sal de di-amônio e DGA + glifosato sal de isopropilamina, ambos com adição de VaporGrip®. O sal de glifosato de amônio apresenta os maiores valores de injúria na cultura da soja; assim como injúrias mais distâncias, e maiores AACF.

Apesar da injúria observada na cultura da soja, principalmente nas faixas de distâncias mais próximas da bandeja aplicada, não ocorre diferença estatística para a produtividade.

Referências

- ABRAHAM, W. **The chemistry behind low-volatility dicamba** (2018). St. Louis: Bayer Crop Science. 2 p.
- AL-KHATIB, K.; DALLAS, P. Soybean (*Glycine Max*) response to simulated drift from selected sulfonylurea herbicides, dicamba, glyphosate, and glufosinate (1999). **Weed Technol.** 13, 264–270.
- BASF. **Engenia herbicide tank mix BASF** (2020). Disponível em: <https://www.engeniaherbicide.com/tank-mix.html>. Acessado em: 23 maio 2021.
- BAYER. **XtendiMax® herbicide with VaporGrip® technology**. Bayer Group (2021). Disponível em: <https://www.xtendimaxapplicationrequirements.com/#/>. Acessado em: 23 abril 2021.

- BISH, M. D.; FARRELL, S. T.; LERCH, ROBERT N.; BRADLEY, KEVIN W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions (2019). **J. Environ. Qual.** doi:10.2134/jeq2019.05.0197.
- BISH, M.; OSELAND, E.; BRADLEY, K. Off-target pesticide movement: a review of our current understanding of drift due to inversions and secondary movement (2020). **Weed Technology**, 1-12. doi:10.1017/wet.2020.138.
- EGAN J.F.; MORTENSEN, D.A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean (2012). **Environ Toxicol Chem** 31:1023–1031.
- EPA. **Memorandum supporting decision to approve registration for the uses of dicamba on dicamba tolerant cotton and soybean** (2020). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/dicamba-decision_10-27-2020.pdf. Acessado em: 02 Jun 2021.
- FERREIRA, P.H.U., THIESEN, L.V., PELEGRINI, G. et al. Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture (2020). **Sci Rep** 10, 18833. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75996-5>.
- JONES G.T.; NORSWORTHY J.K.; BARBER T.; GBUR E.; KRUGER G.R. Off-target movement of DGA and BAPMA dicamba to sensitive soybean (2019). **Weed Technol** 33:51–65. doi: 10.1017/wet.2018.121.
- MELHORANÇA, A.L. **Efeito dos herbicidas pós-emergentes no desenvolvimento e na produção de grãos de soja** (1984). Londrina: (Embrapa-CNPSO. Documentos, 7). 1078 p.
- MUELLER T.C.; STECKEL, L.E. Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives (2019). **Weed Technol** 33: 547–554. doi: 10.1017/ wet.2019.40.
- MUELLER, T.C., WRIGHT, D.R.; REMUND, K. M. Effect of formulation and application time of day on detecting dicamba in the air under field conditions (2013). **Weed Sci**. 61:586–593. doi:10.1614/WS-D-12-00178.1.
- OSIPITAN, O. A.; SCOTT, J.; KNEZEVIC, S. **Effects of dicamba micro-rates on yields of non-dicamba soybeans** (2019). Disponível em: <https://cropwatch.unl.edu/2019/effects-dicamba-micro-rates-yields-non-dicamba-soybeans>. Acessado em: 03 junho 2021.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- SOLTANI, N.; OLIVEIRA, M.C.; ALVES, G.S.; WERLE, R.; NORSWORTHY, J.K.; SPRAGUE, C.L.; YOUNG, B.G.; REYNOLDS, D.B.; BROWN, A.; SIKKEMA, P.H. Off-target movement assessment of dicamba in North America (2020). **Weed Technol** 34:318–330.

STRIEGEL, S.; MAXWEL, C. O.; ARNESON, J. N.; CONLEY, S. P.; STOLTENBERG, D. E.; WERLE, R. Soybean injury as influenced by synthetic auxin formulation and spray additives (2020). **Weed Technology**, 1–55. doi:10.1017/wet.2020.89. Disponível em: <https://maxweeds.rbind.io/pdf/2020-hoop-pub.pdf>. Acessado em: Jun 2021.