

ESPECTRO DE GOTAS E ÍNDICE DE DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DE ASSOCIAÇÕES DE DICAMBA COM *GLYPHOSATE*

RAQUEL BERNA MOREIRA¹ E ULISSES ROCHA ANTUNIASSI²

* Artigo extraído da tese do primeiro autor.

¹Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Av. Universitária, 3780, Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, raquel.berna@unesp.br

²Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Av. Universitária, 3780, Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, ulisses.antuniassi@unesp.br

RESUMO: O objetivo foi avaliar o potencial de deriva de novas formulações de dicamba associados ao *glyphosate* com diferentes pontas de pulverização. Os tratamentos foram agrupados a partir de dois tamanhos de orifícios das pontas utilizadas ("ISO 02" e "ISO 04"), dois volumes de calda propostos (50 e 100 L ha⁻¹) e das pressões de pulverização (3 e 6 bar). Cinco tipos de pontas (TTI, AI, AITTJ, ULD, AIXR) e caldas compostas da mistura de 3,0 L p.c. ha⁻¹ de uma formulação SL de *glyphosate* sal potássico (480 g e.a. L⁻¹) com duas formulações SL de dicamba sal diglicolamina (350 e 480 g e.a. L⁻¹), nas doses de 2,06 e 1,5 L p.c. ha⁻¹, respectivamente. O espectro de gotas foi avaliado em tempo real por meio da técnica de análise por imagem - PDIA e o índice de deriva física foram estimados por meio de túnel de vento. Cada agrupamento foi analisado através de delineamento em esquema fatorial (pontas x caldas), seguido do teste de Tukey. A ponta de pulverização TTI 11004 apresentou os parâmetros mais adequados ao conceito de redução do risco de deriva, considerando a aplicação das misturas de *glyphosate* com dicamba 350 e dicamba 480.

Palavras-chaves: formulações, deriva, pontas de pulverização, túnel de vento.

DROPLET SPECTRUM AND POTENTIAL DRIFT BY NOZZLE WITH AIR INDUCTION IN SPRAYING DICAMBA ASSOCIATIONS WITH *GLYPHOSATE*

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the drift potential of new dicamba formulations associated with *glyphosate* with different nozzles. The treatments were grouped on the basis of different nozzle orifice diameters ("ISO02" and "ISO04"), combinations of two concentrations of the products in the spray solution (50 and 100 L ha⁻¹) and spraying pressures (3 and 6 bar). Five types of nozzles (TTI, AI, AITTJ, ULD, AIXR) and spray solutions composed of a mixture of 3.0 L p.c. ha⁻¹ of an SL formulation of *glyphosate* potassium salt (480 g a.a. L⁻¹) with two SL formulations of dicamba diglycolamine salt (350 and 480 g a.a. L⁻¹) were used at doses of 2.06 and 1.5 L p.c. ha⁻¹, respectively. The droplet spectrum was evaluated in real time via the image analysis technique PDIA, and the physical drift index was estimated via a wind tunnel. Each cluster was analyzed through a factorial design (nozzle × solutions), followed by the Tukey test. The TTI 11004 spray nozzle presented the most suitable parameters for reducing the risk of drift, considering the application of mixtures of *glyphosate* with dicamba 350 and dicamba 480.

Keywords: formulations, drift, spray nozzle, wind tunnel.

1 INTRODUÇÃO

As culturas geneticamente modificadas (GM), despertam o interesse dos agricultores por possuírem a característica de tolerância a herbicidas, como o *glyphosate*. Porém, após 20 anos do uso desta tecnologia com aplicações sequenciais com o mesmo herbicida, ocorreram

seleções naturais de populações de plantas daninhas resistentes ao *glyphosate*.

A dificuldade no controle de plantas daninhas impulsionou pesquisas de desenvolvimento da próxima geração de culturas resistentes a múltiplos herbicidas, como o 2,4-D e o dicamba. Estes herbicidas se caracterizam por serem seletivos para o

controle de espécies de plantas dicotiledôneas, embora quando associados a herbicidas não seletivos, como o *glyphosate*, permitem uma aplicação com maior espectro de controle. É seletivo, sistêmico, absorvido pelas folhas e translocado por toda a planta (Lewis; Tzilivakis, 2017).

Com a chegada da soja tolerante a um herbicida não seletivo, os produtores encontraram a solução para o controle das plantas daninhas resistentes neste primeiro ciclo (Adegas *et al.*, 2017). A possibilidade da produção de culturas tolerantes a diferentes herbicidas convivendo em um mesmo ambiente potencializa o risco de prejuízos por deriva em culturas não tolerantes. A capacidade de eficiência deste herbicida em baixas concentrações traz como consequência a preocupação com o movimento de partículas para fora da área alvo (deriva), causando danos a outras espécies.

Esta tecnologia é uma importante ferramenta para diversificar o modo de ação no controle de plantas daninhas, no entanto, deverá ser bem utilizada para prevenir seu desgaste. Através do desenvolvimento de culturas resistentes a dicamba surgem questões quanto a possíveis interações do herbicida dicamba com outros herbicidas permitindo combinações de misturas no tanque do pulverizador (Behrens *et al.*, 2007).

A possibilidade de alterar a configuração do pulverizador e a composição da calda, deverá minimizar a produção de gotas com diâmetros menores (Ucar; Hall, 2001). Segundo Alves *et al.* (2017), após analisar diferentes pontas de pulverização e o potencial de deriva de soluções com apenas dicamba e outras composições da mistura com o *glyphosate*, observaram diferentes espectro de gotas a cada situação avaliada. Butts *et al.* (2019) discorre que mesmo com herbicidas sistêmicos, como reguladores de crescimento, existe um tamanho crítico de gota e, se o tamanho da gota aumentar, o controle de plantas daninhas poderá ser reduzido.

O uso de técnicas de redução de deriva se iniciou em países desenvolvidos com o objetivo de incentivar a fabricação, comercialização e uso de tecnologias de

pulverização que comprovem cientificamente a redução de deriva quando utilizadas (Hoffmann *et al.*, 2010). O uso de boas práticas agrícolas será essencial no manejo destes cultivares.

A aplicação do herbicida dicamba deve ser realizada com parâmetros da tecnologia de aplicação que visem reduzir o potencial de deriva para culturas não alvo. Dentro destes parâmetros estão a escolha correta da ponta de pulverização e a concentração do produto na solução que será aplicada, buscando equilíbrio e eficiência durante a aplicação (Hewitt, 2000).

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial de deriva de novas formulações de dicamba associados ao *glyphosate* através do espectro de gotas e o índice de deriva com pontas de pulverização que proporcionem baixa deriva.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

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

O espectro de gotas foi avaliado em tempo real por meio da técnica de análise por imagem - PDIA (Particle/Droplet Image Analysis). O equipamento utilizado para realizar as análises foi o *VisiSize* P15 juntamente com o software integrante (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.). Com base nas leituras de espectro de gotas foram determinados os seguintes parâmetros: diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa (AR) e percentual do volume pulverizado com gotas com diâmetro inferior a 150 µm (V150).

O V150 foi utilizado como parâmetro de avaliação neste trabalho por representar numericamente a proporção de gotas mais propensas à deriva dentro do espectro gerado em cada pulverização. Este valor de referência pode variar de um estudo para o outro (Nuyttens *et al.*, 2010). O Índice de deriva física (ID) foi estimado por meio de um túnel de vento, seguindo metodologia adaptada de acordo com

as recomendações da norma ISO (ISO 22856: 2008: equipamento para proteção das culturas, métodos para a medição de laboratório de deriva de pulverização túneis de vento). Um índice de deriva total foi calculado através do somatório da deposição de todos os fios para cada repetição, conforme descreve Chechetto *et al.* (2013).

A Tabela 1 apresenta a descrição dos herbicidas e doses utilizadas para as análises de deriva e espectro de gotas. As duas caldas utilizadas em todas as avaliações foram compostas da mistura de 3,0 L p.c. ha⁻¹ de uma formulação SL de *glyphosate* sal potássico (480 g e.a. ha⁻¹) com duas formulações SL de dicamba sal diglicolamina (350 e 480 g e.a. ha⁻¹), nas doses de 2,06 e 1,5 L p.c. ha⁻¹, respectivamente.

¹), nas doses de 2,06 e 1,5 L p.c. ha⁻¹, respectivamente.

Com a finalidade de facilitar a apresentação dos herbicidas nas descrições dos tratamentos, utilizaram-se na abreviaturas “D+G” e “DRV+G” para indicar a calda utilizada, onde, “D” representa o dicamba de sal diglicolamina, o “DRV” representa o dicamba de sal diglicolamina com o Redutor de Volatilidade e o “G” representa o *glyphosate* de sal potássico. As doses utilizadas estão descritas na Tabela 1 e foram diluídas em água deionizada no mesmo dia em que foi feita sua análise, simulando duas taxas de aplicação com 50 e 100 L ha⁻¹ e pulverizadas nas pressões de 300 e 600 kPa (3 e 6 bar).

Tabela 1. Doses dos herbicidas para as diluições das caldas.

Caldas	Dose dicamba	Dose <i>glyphosate</i>
	g a.e ha ⁻¹	g a.e ha ⁻¹
DRV+G	721	1764
D+G	720	1764

Abreviações: D para dicamba, RV para Redutor de Volatilidade, e G para *glyphosate*.

Considerando os objetivos deste trabalho, uma série de oito ensaios foi desenvolvida como desenhos fatoriais, tendo como fatores as pontas e as caldas de herbicidas. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada como ferramenta primária para análise estatística dos dados e o valor de F foi a base para avaliar a significância dos fatores (causas de variação) e suas interações em cada.

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado em todos os ensaios. O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade foi utilizado para comparação de médias, quando apropriado.

Os oito ensaios corresponderam a combinação de duas concentrações dos produtos na calda equivalente a diluição dos herbicidas para 50 e 100 L ha⁻¹, dois tamanhos de orifícios das pontas ("ISO 02" e "ISO 04") e duas pressões (300 e 600 kPa). Todos os ensaios foram realizados com três repetições para a coleta de dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada uma contabilização dos ensaios em que se constatou a interação entre fatores no fatorial "Pontas x Caldas". Observa-se claramente que, em qualquer situação de pulverização, existe interação entre pontas e caldas para o V150 (esta interação foi significativa nos 8 conjuntos de dados).

Desta forma, torna-se extremamente seguro afirmar que, para a geração do V150, deve ser esperada (sempre) uma interação entre as caldas e as pontas. Ou seja, o V150 de uma determinada ponta sempre será função das caldas pulverizadas, e vice-versa. Embora diversos autores (Miller; Ellis, 2000; Hilz; Vermeer, 2013; Alves *et al.*, 2017) descreveram em pesquisas anteriores quão importante é a interação entre o desempenho da ponta e a calda de pulverização, os resultados obtidos nesta pesquisa nos revelam o percentual de gotas mais finas (V150) como o parâmetro avaliado que demonstrou a resposta desta interação significativa de forma mais relevante.

O mesmo raciocínio não deve ser aplicado para as demais variáveis estudadas. No caso da AR, a interação entre fatores ocorreu para todos os ensaios das pontas de menor vazão (ISO 02), mas no caso das pontas de maior vazão (ISO 04) a interação entre fatores ocorreu apenas para a situação onde havia 300 kPa e 100 L ha⁻¹.

No caso do DMV, observou-se que a interação entre Pontas e Caldas ocorreu apenas nas pressões mais baixas para as pontas 02, enquanto que para as pontas 04 esta interação foi significativa apenas para a situação onde a pressão era 600 kPa com diluição da calda de 100 L ha⁻¹.

Tabela 2. Interação "Pontas x Caldas" para cada um dos fatores avaliados, dentro de cada tamanho de orifício das pontas (ISO 02 e ISO 04) e para cada combinação de pressão com a diluição da calda.

Pressão (kPa)	Diluição da calda (L ha ⁻¹)	DMV		V150		AR		ID
		02	04	02	04	02	04	04
300	50	X		X	X	X		
300	100	X		X	X	X	X	
600	50			X	X	X		
600	100		X	X	X	X		

Por fim, não foram observados casos de interação entre pontas e caldas para as análises do ID, porém, a tecnologia de aplicação é um processo que envolve uma série de componentes em diferentes estágios que

interagem com outros fatores (Ebert; Downer, 2008).

As Tabelas 3 e 4 apontam, na sequência, as situações de pulverização onde se obteve a significância isolada para pontas ou caldas, sem a constatação de interação entre fatores.

Tabela 3. Significância estatística para o fator "Pontas" para cada um dos fatores avaliados, dentro de cada tamanho de orifício das pontas (ISO 02 ou 04) e para cada combinação de pressão com a diluição da calda

Pressão (kPa)	Diluição da calda (L ha ⁻¹)	DMV		V150		AR		ID
		02	04	02	04	02	04	04
300	50		X				X	X
300	100		X					X
600	50	X	X				X	X
600	100	X					X	X

No caso do DMV, observa-se na Tabela 3 que a maioria das situações de pulverização com as pontas de maior vazão apresentou significância das pontas (5 dentre os 4 subgrupos considerados), ocorrendo o mesmo para a AR. Já no caso do ID, em todas as situações de pulverização foi observada a significância do fator ponta, mostrando que a

ponta é um fator preponderante para a definição do ID obtido.

Aliás, a Tabela 4 mostra que não foram observadas situações onde o fator calda tenha sido significativo para o ID de maneira isolada, o que sacramenta a importância das pontas na definição do ID.

Tabela 4. Significância estatística para o fator "Calda" para cada um dos fatores avaliados, dentro de cada vazão de ponta (ISO 02 ou 04) e para cada combinação de pressão com a diluição da calda

Pressão (kPa)	Diluição da calda (L ha ⁻¹)	DMV		V150		AR		ID
		02	04	02	04	02	04	04
300	50							
300	100		X					
600	50	X					X	
600	100	X					X	

Tomando-se como base a premissa de que a tecnologia de aplicação para as caldas com o herbicida auxínico dicamba deve priorizar o uso de Técnicas de Redução de Deriva (TRD), a Tabela 5 apresenta um resumo, indicando qual a ponta de pulverização representa a melhor TRD dentro de cada vazão

de ponta (ISO 02 ou ISO 04) e para cada combinação de pressão com volume de calda. Nesta tabela, a seleção da ponta apresentada levou em consideração que a melhor TRD representa a técnica com o maior DMV, menor V150 e menor ID. No caso de ser destacada mais de uma ponta, isso indica que houve igualdade estatística entre elas.

Tabela 5. Indicação das pontas que ofereceram a melhor condição de redução do risco de deriva (maior DMV, menor V150 ou menor ID), dentro de cada vazão de ponta (ISO 02 ou 04) e para cada combinação de pressão com a diluição da calda

Pressão (kPa)	Diluição da calda (L ha ⁻¹)	Maior DMV		Menor V150		Menor deriva
		02	04	02	04	04
300	50	TTI	TTI	TTI	TTI/AITTJ	TTI/ULD
300	100	TTI	TTI	TTI	TTI/AITTJ	TTI/ULD
600	50	TTI	TTI	TTI/AITTJ	TTI/AITTJ	TTI/ULD
600	100	TTI	TTI	TTI	TTI/AITTJ	TTI/ULD

Observando-se os resultados com esta perspectiva é possível afirmar que a ponta TTI representa, a melhor TRD para a aplicação de dicamba, pois em todos os conjuntos de dados a ponta TTI sempre esteve com o maior DMV, o menor V150 e o menor ID. Entretanto, é importante notar que para as pontas 04, na análise do V150 não houve diferença estatística com a ponta AITTJ, e para o ID o empate estatístico foi com a ponta ULD. Isto significa que, dependendo do fator analisado, a ponta TTI poderia ter concorrentes com desempenho estatisticamente similar.

Como exemplo, se o parâmetro primordial de avaliação da TRD é o V150 (como ocorre primariamente nos EUA), a ponta

AITTJ poderia ser considerada similar à TTI para a vazão 04. Por outro lado, se o índice de deriva física (ID) fosse o parâmetro de avaliação escolhido preferencialmente (como ocorre na Europa), a ponta ULD seria tão bem avaliada em termos de TRD quanto a ponta TTI.

Este fato mostra que, de preferência, a avaliação da TRD deve levar em consideração todos os parâmetros disponíveis (DMV, V150 e ID), não devendo ser focada apenas em um ou outro parâmetro isolado. O mesmo tipo de raciocínio foi utilizado para escolher qual formulação de dicamba seria considerada melhor TRD frente aos resultados obtidos (Tabela 6).

Tabela 6. Indicação das caldas (D+G e DRV+G) que ofereceram a melhor condição de redução do risco de deriva (maior DMV, menor V150 ou menor ID), dentro de cada vazão de ponta (ISO 02 ou 04) e para cada combinação de pressão com diluição da calda

Pressão (kPa)	Diluição da calda (L ha ⁻¹)	Maior DMV		Menor V150		Menor ID
		02	04	02	04	04
300	50	D+G	D+G / DRV+G	D+G	DRV+G	D+G / DRV+G
300	100	D+G	D+G	D+G	DRV+G	D+G / DRV+G
600	50	D+G	D+G / DRV+G	D+G	DRV+G	D+G / DRV+G
600	100	D+G	D+G	D+G	D+G / DRV+G	D+G / DRV+G

Observa-se, neste caso, que a formulação dicamba 480 aparece na maioria das condições de pulverização como aquela que apresenta o menor risco de deriva, havendo ainda diversas situações onde as formulações 480 e 350 apresentam empate estatístico. Apenas em algumas das análises a formulação 350 se mostrou a melhor TRD isoladamente. Neste caso, algumas tendências podem ser consideradas: a formulação 480 foi a melhor TRD em todas as análises de DMV e V150 para as pontas 02, enquanto que para as pontas 04 houve casos em que não ocorreu diferença estatística, assim como algumas combinações que indicaram a formulação 350 como a melhor TRD.

Por outro lado, houve diferença entre as formulações para todas as combinações de pressão e volume de calda quando o parâmetro avaliado foi o ID. De maneira geral, esta análise mostra que é necessário aprofundar o estudo comparativo entre as formulações para que sejam geradas mais evidências da existência ou não de um melhor desempenho como o de TRD entre as formulações 480 e 350.

4 CONCLUSÕES

As pontas de pulverização TTI 11002 e TTI 11004 apresentaram os espectros de gotas mais adequados ao conceito de redução do risco de deriva dentre os modelos avaliados, considerando a aplicação das misturas de *glyphosate* com o dicamba 350 e o dicamba 480.

Para o parâmetro de ID (índice de deriva física em túnel de vento), a ponta de pulverização ULD 11004 mostrou desempenho semelhante a ponta TTI 11004, com o menor

potencial de deriva quando comparadas às outras pontas analisadas.

Houve interação significativa entre as pontas e as caldas na maioria das análises realizadas, com destaque para o V150, onde esta interação significativa ocorreu em todas as combinações de pressão e volume de caldas avaliadas. Este fato reforça a hipótese de que o desempenho das pontas depende das caldas pulverizadas e, de maneira análoga, o desempenho das caldas depende das pontas utilizadas.

As diferenças de comportamento entre os tratamentos, nas diversas combinações, mostraram que não se deve priorizar apenas o V150 como parâmetro de seleção para a TRD, visto que DMV, V150 e ID por muitas vezes indicaram caminhos diferentes na seleção da melhor TRD.

Os resultados globais deste trabalho mostram que é necessário aprofundar o estudo comparativo entre as formulações para que sejam geradas mais evidências da existência ou não de um melhor desempenho como TRD entre as formulações 480 e 350.

5 REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D.L.; KARAM, D.; SILVA, A. F.; AGOSTINETTO, D. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. **Embrapa Soja**. Circular Técnica, Londrina, v. 1, n. 132, p. 1-12, 2017.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, B. C.; HENRY, R. S.; OBRADOVIC, A.; GRUJIC, M. Spray drift from dicamba and glyphosate applications in a

wind tunnel. **Weed Technology**, Cambridge, v. 31, p. 387-395, 2017.

BEHRENS, M. R.; MUTLU, N.; CHAKRABORTY, S.; DUMITRU, R.; JIANG, W. Z.; LAVALLEE, B. J. Dicamba resistance: Enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, Washington, DC, v. 316, p. 1185-1188, 2007.

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

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

EBERT, T.; DOWNER R. **Insecticide application: the dose transfer process**. Encyclopedia of Entomology. New York, Kluwer-Academic, 2008.

HEWITT A. J. Spray drift: impact of requirements to protect the environment. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 19, n. 8, p. 623-627, 2000.

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

HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B.K.; THORNBURG, J. W.; BAGLEY, W. E.; BIRCHFIELD, N. B.; ELLENBERGER, J. Spray drift reduction evaluations of spray nozzles using a standardized testing protocol. **Jornal ASTM**, West Conshohocken, v. 7, n. 8, p. 1-8, 2010.

LEWIS, K.; TZILIVAKIS, J. Development of a Data Set of Pesticide Dissipation Rates in/on Various Plant Matrices. **Pesticide Properties Database**, Basel, v. 2, n. 3, p. 1-8, 2017.

MILLER, P. C. H.; ELLIS, M. C. B. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 19, n. 8/10, p. 609-615, 2000.

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

UCAR, T.; HALL, F. R. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review. **Pest Management Science**. Bethesda, v. 57, n. 8, p. 663-675, 2001.