JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR

DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EM FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba

T
G585d
2018

Godinho Junior, João de Deus, 1993-
Deriva do herbicida 2,4-D em tomate (S*olanum lycopersicum*) em função de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adjuvante / João de Deus Godinho Junior. – Rio Paranaíba, MG, 2018.
vii, 52f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Renato Adriane Alves Ruas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de aplicação. 2. Indução de ar. 3. Tamanho de gota. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal (campus CRP). II. Título.

635.642

JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR

DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE (Solanum lycopersicum) EM FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae.*

APROVADA: 20 de fevereiro de 2018.

Cleyton Batista de Alvarenga

Marcelo Rodrigues dos Reis
(Coorientador)

Renato Adriane Alves Ruas
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, João e Ana, principalmente a minha mãe, e a toda a minha família.

Agradeço ao meu orientador, Renato Adriane Alves Ruas, pela oportunidade, experiências, paciência e ensinamentos.

Aos amigos, colegas do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola (GPMA – UFV CRP) e da Universidade Federal de Viçosa: Carlos Diego, Carlos Roberto, Davi Campos, Douglas Dyonathan, Fabio Oliveira, Guilherme Gontijo, José Marcio, Lucas Caixeta, Luiz Otávio, Marília Almeida, Matheus Oliveira, Sávio Nogueira e Tiago Mencaroni.

Aos Professores Alberto Carvalho Filho, Cleyton Batista de Alvarenga, Marcelo Rodrigues dos Reis, Mauri Martins Teixeira, Vinícius Ribeiro Faria e Willian Rodrigues Macedo.

Aos técnicos Bruno Henrique Rocha, Danilo Henrique Pereira, Helber Dumont Pereira, Paulo Henrique da Cunha, Roberta Gomes Prado e Vinicius Guimarães Nasser.

A Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A todas as pessoas que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

OBRIGADO!!

BIOGRAFIA

João de Deus Godinho Junior, filho de João de Deus Godinho e Ana Lopes Rosa Godinho, nasceu em Carmo do Paranaíba-MG no dia 29 de junho de 1993.

Em 2010 concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual Professor José Hugo Guimarães, na cidade de Carmo do Paranaíba-MG.

Em 2011, iniciou o Curso de Engenharia Agronômica pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Onde foi bolsista de iniciação científica na área de Mecanização Agrícola, com ênfase em Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos e membro do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola – GPMA UFV-CRP. Submeteu e foi aprovado na defesa do Trabalho de Conclusão do Curso em setembro de 2015.

Em 2016, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP), Minas Gerais, Brasil.

No mesmo ano, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 20 fevereiro de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **vi**
ABSTRACT vii
INTRODUÇÃO GERAL **1**
REFERÊNCIAS 3
1º CAPÍTULO – DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D EM FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS E ADJUVANTE **7**
RESUMO 7
ABSTRACT 8
INTRODUÇÃO 9
MATERIAL E MÉTODOS 11
RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
CONCLUSÕES 18
AGRADECIMENTOS 19
REFERÊNCIAS 19
2º CAPÍTULO - COMBINAÇÕES DE PONTAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE PARA REDUÇÃO DA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D **22**
RESUMO 22
ABSTRACT 23
INTRODUÇÃO 24
MATERIAL E MÉTODOS 25
RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
CONCLUSÕES 34
AGRADECIMENTOS 34
REFERÊNCIAS 34
3º CAPÍTULO - REDUÇÃO NA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE UTILIZANDO PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E ADJUVANTE LI-700 ..... **38**
RESUMO 38
ABSTRACT 39
INTRODUÇÃO 40
MATERIAL E MÉTODOS 41
RESULTADOS E DISCUSSÃO 44
CONCLUSÕES 50
AGRADECIMENTOS 50
REFERÊNCIAS 50

RESUMO

GODINHO JUNIOR, João de Deus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Deriva do herbicida 2,4-D em tomate** (S*olanum lycopersicum*) **em função de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adjuvante**. Orientador: Renato Adriane Alves Ruas. Coorientadores: Marcelo Rodrigues dos Reis, Alberto Carvalho Filho e Vinícius Ribeiro Faria.

Perdas e danos causados pela deriva de herbicidas caracterizam um grande problema enfrentado na área da tecnologia de aplicação, principalmente, herbicidas hormonais como o 2,4-D. A associação adequada de pontas hidráulicas, pressão de trabalho e adjuvantes é determinante para a redução da deriva. Assim, objetivou-se analisar modelos de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e a adição do adjuvante LI-700 na ocorrência da deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*). Em túnel de vento, foram avaliadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700, cinco pontas: leque simples (LS), simples com indução de ar (LSI), simples impacto com indução de ar (LII), duplo com indução de ar (LDI) e cone vazio com indução de ar (CVI) e quatro pressões de trabalho (200, 300, 400 e 500 kPa). Em analisador a laser, aplicando-se somente água, foi determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a percentagem de gotas com diâmetro <150 μm (PRD). Também, analisou-se o potencial de intoxicação causada pela deriva do 2,4-D em plantas de tomate. Dentre as pontas LII e CVI, que produzem os maiores diâmetros de gotas, a CVI proporciona melhor uniformidade das gotas. As pontas LII, LSI e CVI, produzem os menores valores de deriva e consequentemente, diminuem os danos em plantas de tomate. A adição de LI-700 na calda de aplicação do 2,4-D, reduz o percentual de deriva e os danos na raiz das plantas de tomate. Independentemente da pressão de trabalho, a ponta LII produz o maior DMV e a CVI proporciona a melhor uniformidade dos diâmetros de gotas e reduz linearmente à deriva, quando comparada com a ponta LS. Dentre as pontas antideriva, LDI gera os menores valores de DMV e consequentemente, os maiores percentuais de deriva. A adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D quando se trabalha nas pressões de 200, 300 e 400 kPa.

ABSTRACT

GODINHO JUNIOR, João de Deus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Drift of 2,4-D herbicide in tomato** (*Solanum lycopersicum*) **in the function of spray nozzles, work pressure and adjuvant**. Adviser: Renato Adriane Alves Ruas. Co-advisers: Marcelo Rodrigues dos Reis, Alberto Carvalho Filho and Vinícius Ribeiro Faria.

Loss and damage caused by herbicide drift characterize a major problem faced in the field of application technology, namely, hormonal herbicides such as 2,4-D. And the proper association of spray nozzles, working pressure and adjuvants is decisive for drift reduction. The objective of this study was to analyze spray nozzles models, working pressures and the addition of the adjuvant LI-700 in the occurrence of the 2,4-D herbicide drift in tomato (Solanum lycopersicum). In the wind tunnel, four silts were evaluated: water, water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700, five spray nozzles: simple fan (LS), simple with induction (LSI), single induction air induction (LII), air induction double (LDI) and air induction vacuum cone (CVI) and four working pressures (200, 300, 400 and 500 kPa). In the laser analyzer, only the volumetric median diameter (DMV), the relative amplitude (RA) and the percentage of droplets with a diameter of <150 μm (PRD) were determined. Also, the potential for intoxication caused by 2,4-D drift in tomato plants was analyzed. Among the LII and CVI tips, which produce the largest droplet diameters, CVI provides better drop uniformity. The tips LII, LSI and CVI, produce the lowest values of drift and consequently decrease damage in tomato plants. The addition of LI-700 in the 2,4-D application solution reduces the percentage of drift and root damage of tomato plants. Regardless of the working pressure, the LII tip produces the highest DMV, and the CVI provides the best uniformity of droplet diameters and linearly reduces drift when compared to the LS tip. Among the antiderivative tips, LDI generates the lowest values of DMV and, consequently, the highest percentages of drift. Addition of the adjuvant LI-700 to the syrup reduces the drift of the 2,4-D herbicide when working at pressures of 200, 300 and 400 kPa.

INTRODUÇÃO GERAL

Todo produto aplicado que se deposita fora do alvo é considerado deriva e normalmente é resultado da ação de gotas menores que 100 micrômetros produzidas durante a pulverização da calda (Sumner, 1997; Murphy et al., 2000; Wolf, 2000; ASAE, 2000; Câmara et al., 2008). Tais gotas são mais facilmente transportadas para fora do alvo de interesse, sendo um dos fatores que mais representam perdas nas aplicações de agrotóxicos (Costa et al., 2007).

Quanto aos problemas com deriva, o herbicida 2,4-D se destaca por ser muito utilizado e ter efeito hormonal (mimetizador de auxina), possuindo alta toxicidade às plantas sensíveis, mesmo em baixas concentrações, podendo causar perdas em culturas como uva Itália (Oliveira Júnior et al., 2007), algodão (Constantin et al., 2007), alface, pepino e tomate (Nascimento & Yamashita, 2009), dentre outras hortaliças. Ademais, com a introdução de culturas geneticamente modificadas resistentes ao 2,4-D, haverá um aumento na utilização deste herbicida. Assim, espera-se que os problemas com a deriva do 2,4-D aumentem nos próximos anos.

Porém, nos últimos anos, diversas tecnologias de aplicação têm sido empregadas visando-se reduzir os efeitos danosos da deriva. Com elas, tem-se procurado proporcionar a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, de forma econômica, na menor quantidade necessária e com o mínimo de contaminação ambiental, visando atender o que se preconiza como conceito da tecnologia de aplicação de agrotóxico (Matuo, 2002). Dentre essas tecnologias, pode-se destacar o uso de pontas hidráulicas com indução de ar e a adição de adjuvantes à calda de pulverização.

A ponta hidráulica é diretamente responsável pela vazão, fragmentação da calda em gotas e pela formação do jato de pulverização, sendo um dos componentes mais importante

dos pulverizadores hidráulicos (Cunha et al., 2007; Fernandes et al., 2007; Viana et al., 2007). Com o objetivo de minimizar perdas por deriva têm se indicado modelos de pontas hidráulicas com indução de ar para aplicação de herbicidas que necessitam de menor cobertura do alvo (Viana et al., 2007), sobretudo, para aqueles que podem ser aplicados em pré-emergência e os de ação sistêmica, como, por exemplo, o 2,4-D. Estas pontas se utilizam do princípio de venture para introduzir ar no líquido da calda, produzindo gotas de diâmetro maior e com até 10 % de seu volume sendo constituído de ar (Guller et al., 2007), o que pode dificultar o seu transporte pelo vento e reduzir a deriva (Nuyttens et al., 2007).

Outra forma de se amenizar a produção de gotas de diâmetro menor que 100 µm, e consequentemente a deriva, é a adição de adjuvantes à calda de pulverização (Moreira Junior & Antuniassi, 2010). Porém, apesar de influenciarem o tamanho das gotas geradas, essa característica varia, sobretudo, de acordo com o modelo de ponta hidráulica e a pressão de trabalho (Spanoghe et al., 2007; Iost & Raetano, 2010; Costa et al., 2014).

O aumento da pressão de trabalho, dependendo do modelo de ponta hidráulica, pode diminuir drasticamente o diâmetro médio das gotas produzidas na pulverização da calda (Cunha et al., 2007), o que pode favorecer a ocorrência da deriva. Ademais, a adição de adjuvante tenso ativo à calda pode contribuir para a produção de gotas ainda menores, pois, ao reduzir a tensão superficial do líquido proporciona maior fragmentação das gotas, podendo potencializar ainda mais a deriva (Cunha et al., 2010). Assim, existem controvérsias quanto aos reais efeitos da adição de adjuvantes à calda, principalmente, quando se utiliza modelos de pontas hidráulicas com indução de ar (Cunha et al., 2010; Nascimento et al., 2012; Gandolfo et al., 2013).

A observação desses efeitos no campo, apesar de ser possível, é de difícil quantificação, uma vez que existem vários fatores que interferem nas medições, como vento, temperatura e umidade relativa do ar, equipamento e modo de aplicação. Nesse caso, para se

avaliar os principais aspectos que influenciam na produção das gotas, como por exemplo, tipo de ponta hidráulica, adjuvante e pressão de trabalho, o estabelecimento de condições controladas em laboratório torna-se uma tática mais adequada. Ademais, a obtenção desses parâmetros indicadores de deriva em condições conhecidas permitem melhor compreensão desse fenômeno, além de possibilitar a criação de modelos de equações para predizer à deriva deslocada ou evaporada que podem ocorrer na pulverização de agrotóxicos nas lavouras em geral (Alves & Cunha, 2014). Assim, tais modelos podem ser considerados uma valiosa ferramenta na definição da área afetada pelas pulverizações, podendo ser utilizado no controle dos danos causados pela deriva do herbicida 2,4-D.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a combinação entre modelos de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adição do adjuvante LI-700 na deriva do herbicida 2,4-D.

REFERÊNCIAS

ALVES, G.S.; CUNHA, J.P.A.R**. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, n.8, p.622-629, 2014.

ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra.** In: ASAE Standards. St. Joseph, p.389-91, 2000.

B.C.P.C. - Nozzle selection handbook. Bulletin 611/TA1, 1990. 40p. In: CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. Boletim Técnico. São Paulo: Teejet, p.15, 1999.

CAMARA, F.T.; SANTOS, J.L.; SILVA, E.A.; FERREIRA, M.C. **Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003.** Engenharia Agrícola, v.28, p.740-749. 2008.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; FAGLIARI, J.R.; PAGLIARI, P.H.; ARANTES, J.G.Z.; CAVALIERI, S.D.; FRAMESQUI, V.P.; GONÇALVES, D.A. **Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função de seu estádio de desenvolvimento.** Engenharia Agrícola, v.27, p. 24-29, 2007.

COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; SILVA, F.M.L. **Efeito da intensidade do vento, da pressão e de**

pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. Planta Daninha, v.25, p.203-210, 2007.

COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M.V.; SIONO, L.M. **Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo.** Ciência Rural, v.44, p. 387-392, 2014.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C. **Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser.** Engenharia Agrícola, v.27, p.10-15, 2007.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. **Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola.** Planta Daninha, v.28, p.1153-1158, 2010.

FERNANDES, A.P.; PARREIRA, R.S.; FERREIRA, M.C.; ROMANI, G.N. **Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização.** Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p. 728-733. 2007.

GANDOLFO, M.A.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO, F.K.; GANDOLFO, U.D.; MORAES, E.D. **Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate.** Ciência Agronômica., v. 44, p. 474-480, 2013.

GULLER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; YU, Y.; KRAUSE, C.R. **Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles.** Transaction of ASABE, Saint Joseph, v.50, p.745-754, 2007.

IOST, C.A.R.; RAETANO, C.G. **Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais.** Engenharia Agrícola, v.30, p.670-680, 2010.

ISO - International Organization for Standardization**. Equipment for crop protection**, **ISO standars 5682/1/1981.** Geneva: ISO, p. 358-371, 1986.

ISO - International Organization for Standardization. **Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS 22866:2005.** Geneva: ISO, p.22, 2005.

MATUO, T.; PIO, L.C.; RAMOS, H.H. **Módulo 2 – tecnologia de aplicação dos agroquímicos e equipamentos.** In: Associação Brasileira de Ensino Superior (ABEAS). Curso de especialização por tutoria à distância – Curso de proteção de plantas, Brasília: ABEAS, p.91, 2002.

MOREIRA JUNIOR, O.; ANTUNIASSI, U.R. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios da estimativa da deriva em pulverizações agrícolas.** Energia na Agricultura, v.25, p.118-136, 2010.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H; PARKIN, C. S. **The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift.** Journal of Agricultural Engineering Research, v.75, p.27-137, 2000.

NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.; ABI-SAAB, O. J. G. **Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação.** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v.5, p.105-116, 2012.

NASCIMENTO, E. R.; YAMASHITA, O. M. **Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram.** Semina, v.30, p.47-54, 2009.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. **Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics.** Biosystems Engineering, Silsoe, v.97, p.333-345, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. **Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estádio de desenvolvimento.** Engenharia Agrícola, Sorocaba, v.27, p.35-40, 2007.

SPANOGHE, P.; SCHAMPHELEIRE, M.; MEEREN, P.V.; STEUBAUT, W.; **Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra.** Pest Management Science, v.63, p.4-16, 2007.

SILVA, B.M.; RUAS, R.A.A.; SICHOCKI, D.; DEZORDI, L.R.; CAIXETA, L.F. **Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes partes da planta de soja (Glycine max) e milho (Zea mays).** Engenharia na agricultura, v.22, p.17-24, 2014.

SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, p.11 (ENG97-005), 1997.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS, F.C.L.; QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. **Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-11.** Planta Daninha, v.25, p.211-218, 2007.

WOLF, R.E. **Strategies to reduce spray drift.** Kansas: Kansas State University, p.4, (Application Technology Series), 2000.

1º CAPÍTULO – DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D EM FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS E ADJUVANTE

RESUMO

Perdas causadas pela deriva caracterizam um dos principais problemas das aplicações de agrotóxicos. Este trabalho objetivou analisar a combinação do uso de pontas com indução de ar e o adjuvante LI-700 na ocorrência de deriva do herbicida 2,4-D. Em túnel de vento, foram avaliadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e cinco pontas: leque simples (LS), simples com indução de ar (LSI), duplo com indução de ar (LDI), simples impacto com indução de ar (LII) e cone vazio com indução de ar (CVI). Empregou-se delineamento inteiramente casualizado para determinar o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR), e a percentagem de gotas com diâmetro <150 μm (PRD) em analisador a laser. Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey à 5%. A ANOVA foi sempre significativa. Dentre as pontas, LII e CVI, que produzem os maiores diâmetros de gotas, a CVI proporciona melhor uniformidade das gotas. As pontas LII, LSI e CVI, produzem os menores valores de deriva. O adjuvante LI-700 na calda de aplicação do herbicida 2,4-D, reduz o percentual de deriva, nas pontas LS, LSI. LDI e CVI.

Palavras-Chave: tecnologia de aplicação, tamanho de gota, túnel de vento

DRIFT IN THE SPRAYING OF THE 2,4-D HERBICIDE IN FUNCTION OF SPRAY NOZZLES AND ADJUVANT

ABSTRACT

Losses caused by drift characterize the main problems of agrochemical applications. This work aimed to analyze the combination of spray nozzles with air induction and the adjuvant in the infusion of herbicide LI-700 2,4-D. In the wind tunnel, four silts were evaluated: water, water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles: simple fan (LS), simple with induction (LSI), air induction double (LDI), simple air induction impact (LII), and air induction vacuum cone (CVI). Using a completely randomized design to determine the diameter of the medulla volume (DMV), relative amplitude (RA), and a passage of drops with a diameter of <150 μm (PRD) in a laser analyzer. Data were submitted to ANOVA and Tukey test at 5%. ANOVA was always significant. Among the tips, LII and CVI, which produces the largest droplet diameters, CVI provides better drop uniformity. Like the tips LII, LSI and CVI, it produces the lowest values of drift. The adjuvant LI-700 in the application syringe of the herbicide 2,4-D, reduces the percentage of drift, at the points LS, LSI. IDD and CVI.

Keywords: application technology, droplet size, wind tunnel

INTRODUÇÃO

A perda do ingrediente ativo dos agrotóxicos aplicados para fora do local de interesse na lavoura é um dos grandes desafios enfrentados pelos produtores rurais. Porém, para a diminuição destas perdas, o mercado oferece uma variedade de tecnologias que podem ser utilizadas, como por exemplo, modelos de pontas hidráulicas e adjuvantes adequados. Essas duas ferramentas, podem e devem ser utilizadas com o objetivo de homogeneizar o espectro de gotas e diminuir o percentual de gotas com diâmetro reduzido produzido durante a pulverização hidráulica. Gotas com diâmetros inferiores a 100 µm são responsáveis pela maior parte da deriva durante as pulverizações (Arvidsson et al., 2011).

As pontas hidráulicas são um dos componentes de maior importância nas pulverizações hidráulicas, e de fato, fundamentais na redução da deriva (Ferreira et al., 2011). Pois, são determinantes do volume pulverizado e na formação do jato de pulverização da calda. Os modelos de pontas dotados do sistema venturi de indução de ar, se destacam na redução da deriva, por produzirem gotas com maior diâmetro, que são mais difíceis de serem levadas pelo vento, reduzindo, portanto, a deriva (Miller, 2004).

Porém, gotas com diâmetros elevados possuem menor capacidade de cobertura do alvo e por isso, são indicadas na aplicação de herbicidas em pós-emergência de ação sistêmica (Viana et al., 2007). Dentre esses herbicidas, o 2,4-D é um dos mais utilizados para o controle de plantas daninhas dicotiledônias, além de ser uma alternativa para plantas invasoras resistentes ao glifosato (Robinson et al., 2012; Craigmyle et al., 2013; Spaunhorst & Bradley 2013). Entretanto, o eventual desenvolvimento de culturas com genes de resistência ao 2,4-D, preocupa técnicos e produtores (Mortensen et al., 2012). Isso, pelo fato de ser um produto de ação hormonal, mesmo baixas quantidades de 2,4-D perdidas por deriva, podem ocasionar grandes problemas em plantas sensíveis (Egan et al., 2014). Ademais, pode expor uma maior

população de espécies à ação do produto, podendo contribuir para a seleção de indivíduos resistentes.

A utilização de adjuvantes tem o objetivo de melhorar as propriedades físicas e químicas da calda, podendo torná-la menos propensa às variações de temperatura e de umidade do ambiente durante as aplicações na lavoura, reduzindo as perdas (Nascimento et al., 2012; Vilela & Antuniassi, 2013). Pode também diminuir a evaporação e potencializar o transporte de gotas de tamanho muito reduzido até os alvos. Entretanto, o efeito da adição de adjuvantes na calda pode variar conforme o modelo de ponta empregado (Cunha et al., 2010; Gandolfo et al., 2013; Mota & Antuniassi, 2013).

No processo de pulverização da calda, o ar é incorporado em bolhas dentro das gotas, tanto pelo sistema Venturi (Pontas com indução de ar), como também quando a calda entra em contato com o ar e é fragmentada em gotas, após sair da ponta de pulverização (Pontas sem indução de ar). Porém, essas bolhas compõem pontos de enfraquecimento na estrutura das gotas, que facilitam o seu rompimento (Miller & Butler Ellis, 2000; Guler et al., 2007).

Desta forma, adjuvantes com maior capacidade de formação de espuma melhoram a retenção dessas bolhas de ar nas gotas, diminuindo o rompimento e fragmentação dessas em gotas menores (Mota & Antuniassi, 2013), e consequentemente reduzindo a deriva. Porém, a formação de espuma no tanque de pulverização não é um processo desejado, pois contribuir com a perda de produto, por derramamento e/ou como resíduo depositado no interior do tanque ao final da aplicação.

Desta forma, com o conhecimento dos equipamentos de pulverização, da calda de aplicação e da interação desses dois fatores em função das condições ambientais durante a aplicação, é possível, estimar quantitativamente a ocorrência da deriva e prever a distância horizontal percorrida pelas gotas. Isso possibilita aos produtores uma melhor tomada de decisão no controle da pulverização, reduzindo assim, os danos causados pela deriva.

Objetivou-se neste trabalho, analisar o efeito da combinação do uso de pontas com indução de ar e o adjuvante LI-700 na ocorrência de deriva do herbicida 2,4-D.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. A deriva foi determinada em túnel de vento, seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcela subdividida com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro caldas de aplicação: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700. E as subparcelas constituídas por cinco modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14 $L.min^{-1}$: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI).

Determinou-se o espectro de gotas produzido pelos modelos de pontas hidráulicas avaliadas. Para isso, utilizou-se um analisador de partículas a laser (modelo Spraytech, Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido), aplicando água (ASAE S572.1, 2009). Foram determinados o diâmetro da mediana volumétrica – DMV (diâmetro da gota que divide o volume de uma população de gotículas em duas partes iguais) e a amplitude relativa da população de gotas – AR, a qual mede a homogeneidade dos diâmetros de gotas produzidas na pulverização. Quanto menor esse valor, maior a uniformidade do espectro da pulverização e assim, maior também a qualidade da pulverização (Madureira et al., 2015). Foi determinada também a percentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro inferior a 150 μm, que pode ser utilizado como indicador do potencial risco de deriva - PRD (Cunha et al., 2004).

A distância focal do analisador foi de 750 mm e a calibração realizada para que fosse registrado pelo aparelho gotículas nas classes de tamanho de 0,10 – 2.500 μm. A pressão de trabalho utilizada foi de 300 kPa e a ponta hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do analisador de partículas. Foi utilizado um motor elétrico para girar a barra de pulverização de tal forma que todo o jato que saía da ponta passasse transversalmente durante três segundos através do feixe de luz emitido pelo laser.

Para avaliação da deriva, empregou-se um túnel de vento com circuito aberto e seção de teste fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A corrente de vento foi gerada por um ventilador de três hélices acionadas por um motor elétrico com 200 W de potência.

Foram posicionadas a 10 cm do ventilador, duas telas, uma de nylon (malha 2 mm) e outra de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi colocada uma colmeia composta por 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura, comprimento e espessura de parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia era uniformizar e gerar fluxo laminar da corrente de ar proveniente do ventilador.

O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na proporção de 0,5 litros para cada 100 L de calda e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4-D NORTOX, foi de 670 g i.a. ha^{-1}, ou seja, simulação da aplicação um litro ha^{-1}, para um volume de calda de 200L ha^{-1}. Foi adicionado em todas as caldas de pulverização como traçador para a quantificação da deriva produzida, o corante alimentício azul brilhante (Corante Azul FCF, Duas Rodas Industrial), catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na concentração de 5 g L^{-1}.

Para se detectar o deslocamento da calda pulverizada no interior do túnel de vento, foram posicionados transversalmente ao fluxo de ar, fios coletores de nylon de 2 mm de diâmetro (ISO, 2005) situados a 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m da ponta de pulverização e a 0,10; 0,25 e 0,40 m

do piso do túnel de vento. Em cada avaliação, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s até que o fluxo de ar se estabilizasse. Em seguida foi ligado o sistema de pulverização na pressão de 300 kPa durante 20 s. Após esse tempo desligava-se o sistema de pulverização e o ventilador, e após 25 s, os fios coletores eram retirados no túnel de vento.

Após a retirada dos fios coletores eles eram acondicionados em sacos plásticos transparentes contendo 50 mL de água destilada e agitados por trinta segundos. Depois, eram colocados em ambiente protegido da luz, para se evitar a fotodegradação do corante. As amostras foram analisadas em espectrofotômetro digital (Visible Spectrophotometer - Modelo Evolution 300 UV). Foi utilizado o comprimento de onda de 630 nm, faixa de detecção do azul brilhante (Palladini et al., 2005).

Em cada avaliação, antes da análise no espectrofotômetro, foi confeccionada uma curva de calibração com oito concentrações conhecidas da calda de aplicação contendo o corante (Figura 1). Com isso, determinou-se a concentração do corante em gramas por litro em cada amostra coletada no túnel de vento. A quantidade encontrada nos pontos de coleta foi transformada em porcentagem em relação ao total existente na calda de pulverização, sendo definida neste trabalho, como a quantidade de deriva produzida pelos tratamentos empregados. Em seguida, foi feita a média da deriva das três alturas de coleta para cada distância.

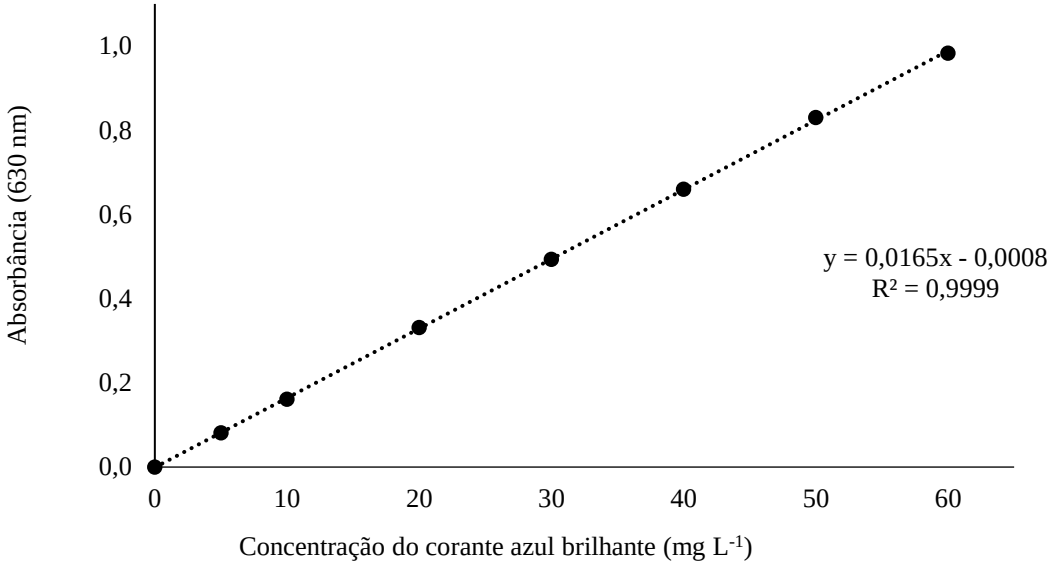


Figura 1 – Curva de calibração da absorbância em função da concentração do corante azul brilhante para detecção da deriva no túnel de vento.

A média das condições climáticas durante as avaliações foram monitoradas empregando-se um termo-hidro-anemômetro digital portátil modelo THAL-300. A temperatura média foi de 24,7^{0}C e umidade relativa do ar de 62,9%. A velocidade do vento gerada pelo ventilador durante a aplicação foi de dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-anemômetro no local onde a ponta foi posicionada.

A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 L.min^{-1} dotada de três pistões, acionada por motor elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500, equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de precisão A3 ABNT (±0,25% FDE).

A coleta e análise dos dados foi realizada respeitando os princípios da estatística experimental, ou seja: amostras independentes, homocedasticidade e normalidade dos dados.

A homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% para modelos de pontas e caldas de aplicação. As distâncias de coleta em relação ao ponto de pulverização, foram analisadas por regressão a 5% de probabilidade, escolhendo-se o modelo de equação gerado que melhor se ajustou, respeitando a ANOVA da regressão e o comportamento do fenômeno avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância foi significativa para todas as variáveis analisadas no analisador a laser, DMV, PRD e AR. O modelo de ponta hidráulica que gerou o menor DMV (166,83 μm) e o maior PRD (43,39%) foi a LS. Em contrapartida, os modelos antideriva dotados de indução de ar, LSI, LII, LDI E CVI produziram valores de DMV mais elevados e consequentemente, apresentaram menores risco de causarem deriva (Tabela 1).

Tabela 1 – Interferência do modelo de ponta no diâmetro da mediana volumétrica - DMV, potencial risco de deriva - PRD e amplitude relativa - AR

Ponta hidráulica	DMV (μm)*	PRD (%)*	AR*
Leque simples - LS	166,8 A	43,4 E	1,8 B
Leque simples com indução - LSI	483,2 C	7,9 C	1,7 B
Leque duplo com indução - LDI	394,3 B	12,9 D	1,7 B
Leque impacto com indução - LII	594,1 D	5,8 B	2,1 C
Cone vazio com indução - CVI	545,0 D	3,1 A	1,4 A
CV (%)	5,3	6,6	4,1

*As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Em relação ao modelo de ponta LS, que não possuem o sistema venture, os modelos com indução de ar produziram maiores valores de DMV em 2,9 (LSI), 3,6 (LII), 2,4 (LDI) e 3,3 vezes (CVI), e reduziram em 81,9% (LSI), 86,6% (LII), 70,4% (LDI) e 92,9% (CVI) o PRD.

Esses resultados, demostram a eficácia desses modelos antideriva em aumentar o DMV e reduzir o percentual de gotas produzidas com diâmetro menor que 150 µm. Tais gotas são mais facilmente transportadas pelo vento e perdidas pela deriva (Arvidsson et al., 2011).

Dentre as pontas hidráulicas com sistema venture avaliadas se destacaram os modelos LII e CVI que produziram os maiores DMV, (594,10 e 545,00 µm, respectivamente). No entanto, a ponta LII proporcionou o maior valor de AR (2,08) e a CVI o menor valor (1,44), comparativamente com as demais pontas. Quanto maior for o valor da AR, menor é a uniformidade do espectro de gotas produzido durante a pulverização, ou seja, maior é a variação dos diâmetros das gotas produzidas (Madureira et al., 2015).

Na avaliação da deriva no túnel de vento, a análise de variância foi significativa para a interação entre calda de aplicação e modelos de pontas hidráulicas. Ou seja, para cada calda a ser pulverizada deve se considerar o modelo de ponta hidráulica que será utilizado e vice-versa. Os modelos de pontas com indução de ar LSI, LII, LDI e CVI reduziram a deriva em 72, 79, 62 e 71% respectivamente, em relação à ponta LS (Tabela 2).

Tabela 2 - Porcentagem de deriva gerada por quatro caldas e cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

Ponta hidráulica	Porcentagem de deriva*				CV (%)
	Calda				
	água	água + LI-700	água + 2,4-D	água + 2,4-D + LI-700	
Leque simples - LS	19,6 Ce	8,4 Ad	12,7 Be	8,3 Ae	
Leque simples com indução - LSI	4,1 Cb	2,9 Ab	3,5 Bb	2,7 Ac	
Leque duplo com indução - LDI	6,2 Dd	4,4 Bc	5,9 Cd	3,9 Ad	4,2
Leque impacto com indução - LII	1,9 Aa	2,9 Cb	1,9 Aa	2,4 Bb	
Cone vazio com indução - CVI	5,6 Bc	1,8 Aa	5,3 Cc	1,9 Aa	
CV (%)			6,4		

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Em relação às distâncias de coleta, de forma linear, quanto maior a distância em relação a ponta de pulverização, menor foi o percentual de deriva (Figura 2). Isso pode ser explicado, pela ação da gravidade onde as gotas vão sendo depositadas ao longo da superfície do túnel, de modo que, quanto maior a distância, menor o número de gotas. Isso também ocorre no campo onde, quanto mais perto do local de pulverização, maior é a quantidade de calda depositada (Alves & Cunha, 2014).

A adição do adjuvante LI-700 à calda, quando se tinha a presença do herbicida 2,4-D, reduziu a quantidade de deriva detectada em todas a distâncias, em todos as pontas hidráulicas, exceto para a LII (Tabela 2). A LII é uma ponta de impacto, leque simples e com indução de ar, essa maior complexidade da sua construção pode ter interagido negativamente com o adjuvante na formação de gotas maiores, menos susceptíveis à deriva pelo vento.

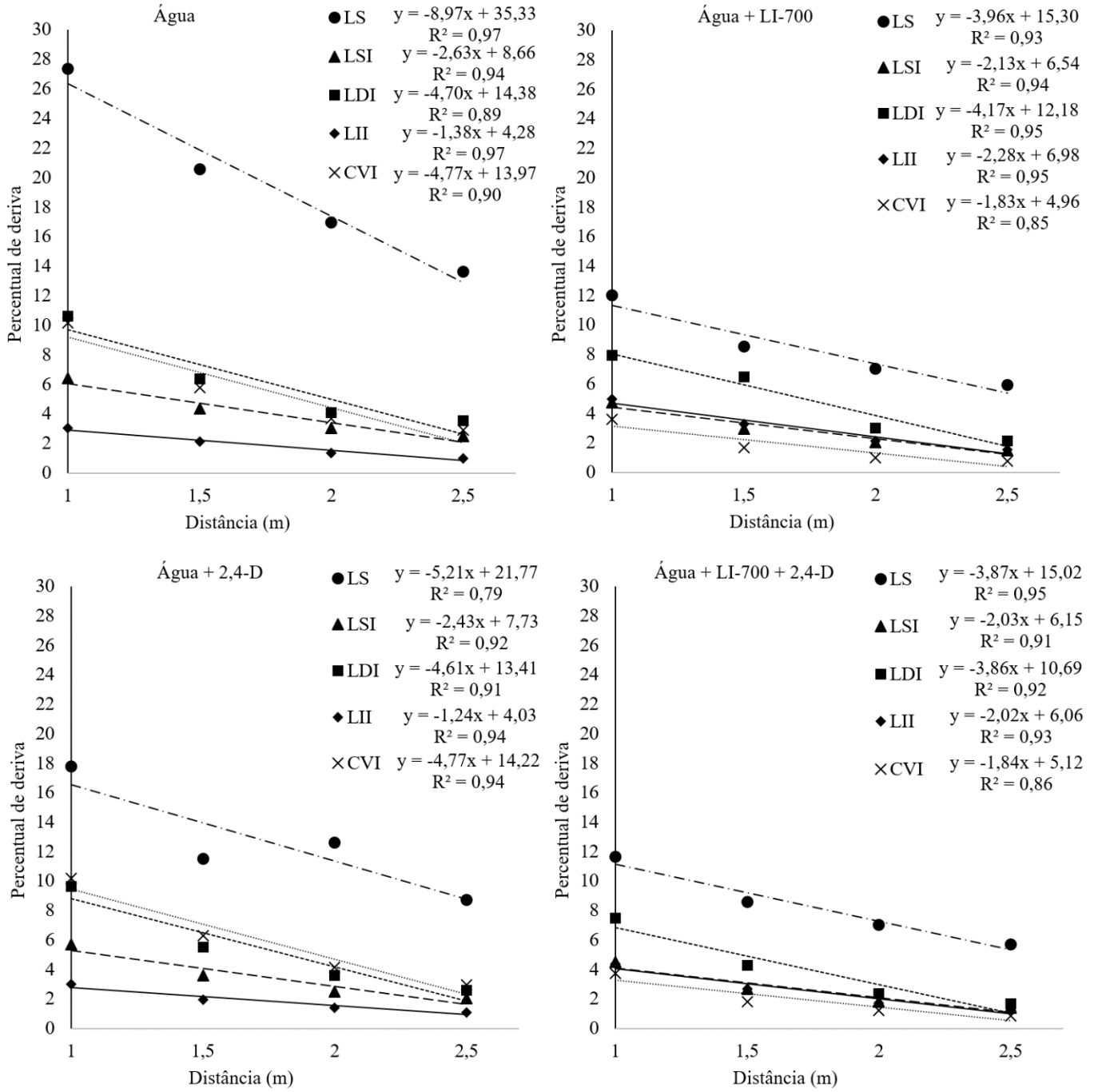


Figura 2 – Percentual de deriva coletada aplicando em túnel de vento quatro caldas, com cinco modelos de pontas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque simples impacto com indução (LII) e cone vazio com indução (CVI), em quatro distancias de coleta.

CONCLUSÕES

Dentre as pontas, LII e CVI, que produzem os maiores diâmetros de gotas, a CVI proporciona melhor uniformidade das gotas.

As pontas LII, LSI e CVI, produzem os menores valores de deriva independentemente do tipo de calda utilizada.

O adjuvante LI-700 presente na calda de aplicação do herbicida 2,4-D, reduz o percentual de deriva quando se utiliza nas pontas LS, LSI. LDI e CVI.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

ALVES, G.S.; CUNHA, J.P.A.R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.622-629, 2014.

ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, v.67, p.586-598, 2011.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra.** ASAE S572.1. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

CRAIGMYLE, B.D.; ELLIS, J.M.; BRADLEY, K.W. Influence of herbicide programs on weed management in soybean with resistance to glufosinate and 2,4-D. **Weed Technology**, v.27, p.78-84, 2013.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.977-985, 2004.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R. FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola**. Planta daninha**, v.28, p.1153-1158, 2010.

EGAN, J.F.; BARLOW, K.M.; MORTENSEN, D.A. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, p.193-206, 2014.

FERREIRA, M.C.; LOHMANN, T.R.; CAMPOS, A.P.; VIEL, S.R.; FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, v.29, p.697-705, 2011.

GANDOLFO, M.A.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO. F.K.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E.D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.474-480, 2013.

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.; YU, Y.; KRAUSE, C.R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.50, p.745-754, 2007.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS 22866:2005**. Geneva: ISO, p.22, 2005.

MADUREIRA, R.P.; RAETANO, C.G.; CAVALIERI, J.D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. Revista Brasileira de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.180-185, 2015.

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

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

MORTENSEN, D.A.; EGAN, J.F.; MAXWELL, B.D.; RYAN, M.R.; SMITH, R.G. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, v.62, p.75-85, 2012.

MOTA, A.A.B.; ANTUNIASSI, U.R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, V.28, p.1-5, 2013.

NASCIMENTO, A.; OLIVEIRA, G.; BALAN, M.; HIGASHIBARA, L.; ABI SAAB, O. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Applied Research & Agrotechnology**, v.5, p.105-116, 2012.

PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, v.62, p.440-445, 2005.

ROBINSON, A.P.; SIMPSON, D.M.; JOHNSON, W.G. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**, v.26, p.657-660, 2012.

SPAUNHORST, D.J.; BRADLEY, K.W. Influence of dicamba and dicamba plus glyphosate combinations on the control of glyphosate-resistant waterhemp (Amaranthus rudis). **Weed Technology**, v.27, p.675-68, 2013.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS, F.C.L.; QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, v.25, p.211-218, 2007.

VILELA, C.M.; ANTUNIASSI, U.R. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e adjuvantes depositadas em superfície. **Engenharia Agrícola,** v.28, p. 65-73, 2013.

2º CAPÍTULO - COMBINAÇÕES DE PONTAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE PARA REDUÇÃO DA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar combinações de modelos de pontas, pressões de trabalho e adjuvante na redução da deriva do herbicida 2,4-D. Em túnel de vento, foram analisadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e cinco pontas: leque simples (LS), leque simples com indução de ar (LSI), leque duplo com indução de ar (LDI), leque simples impacto com indução de ar (LII) e cone vazio com indução de ar (CVI), em quatro pressões de trabalho (200, 300, 400 e 500 kPa). Em analisador a laser, aplicando somente agua, foi determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR), e a percentagem de gotas com diâmetro <150 μm (PRD). Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey à 5%. A ANOVA foi sempre significativa. A adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D nas pressões de 200, 300 e 400 kPa. Dentre os modelos antideriva, a ponta leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 gera menor DMV, maior PRD e, consequentemente maior deriva. A ponta leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP, produz o maior DMV. E a cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100, proporciona a melhor uniformidade dos diâmetros de gotas.

Palavras-Chave: tecnologia de aplicação, Indução de ar, tamanho de gota, túnel de vento

COMBINATION OF SPRAY NOZZLES, WORKING PRESSURES AND ADJUVANT LI-700 FOR REDUCTION OF DRIFT OF 2,4-D HERBICIDE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate combinations of spray nozzles, working pressures and adjuvant to reduce the 2,4-D herbicide drift. In the wind tunnel, four silts were analyzed: water, water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles: single fan (LS), single fan with induction air induction fan (LSI), air induction double fan (LDI), single induction air induction fan (LII) and air induction vacuum cone (CVI) in four working pressures (200, 300, 400 and 500 kPa). In the laser analyzer, only the diameter of the volumetric median (DMV), the relative amplitude (RA), and the percentage of drops with a diameter of <150 μm (PRD) were determined. Data were submitted to ANOVA and Tukey test at 5%. ANOVA was always significant. Addition of the adjuvant LI-700 to the syrup reduces the 2,4-D herbicide drift at pressures of 200, 300 and 400 kPa. Among the anti-drift models, the double fan-inducing fan tip - Magno AD-IA / D110 generates lower DMV, higher PRD and, consequently, greater drift. The single fan impact tip with air induction - Teejet TTI110-VP, produces the largest DMV. And the vacuum cone with air induction - Magno CV-IA100, provides the best uniformity of droplet diameters.

Keywords: application technology, air induction, droplet size, wind tunnel

INTRODUÇÃO

A correta regulagem e calibração dos equipamentos de pulverização é uma das formas mais eficazes de reduzir as perdas durante a aplicação. Na calibração, a vazão da calda pode ser aumentada, geralmente, trocando o modelo de ponta, diminuindo a velocidade da operação e/ou aumentando a pressão de trabalho.

Nas propriedades rurais, a forma mais utilizada para ajuste da vazão é o aumento da pressão. Pois, não se tem custos com conjuntos adicionais de pontas de diferentes vazões e/ou perdas de capacidade operacional com a redução da velocidade de trabalho. Porém, o aumento da pressão não só aumenta vazão e número de gotas produzidas, mas também, causa diminuição do diâmetro das gotas produzidas, tornando o jato de pulverização mais susceptível a perdas por evaporação e/ou transporte pelo vento e dependendo das condições durante a aplicação, pode gerar deriva (Boller & Raetano, 2011).

A deriva é um grande problema do controle químico de plantas invasoras. Tendo como exemplo, a aplicação do herbicida 2,4-D que possui ação hormonal. Mesmo em pequenas quantidades quando este produto atinge plantas sensíveis não alvo, ocorre grandes prejuízos (Egan et al., 2014). Para reduzir essas perdas é fundamental utilizar a tecnologia de aplicação de agrotóxicos, definindo modelo de ponta, pressão de trabalho e calda de aplicação que melhor se adeque a cada situação. Assim a correta seleção do modelo de pontas é passo fundamental para reduzir a deriva e atingir o alvo da aplicação (Ferguson et al., 2015a; Gandolfo et al., 2013).

Uma opção disponível são as pontas hidráulicas dotadas de indução de ar que são dotadas de orifícios que succionam o ar do ambiente, misturando-o com a calda, e assim, gera gotas maiores, contendo bolhas de ar em seu interior (Vallet & Tinet, 2013). Outra opção são os adjuvantes, que quando adicionados à calda a tornam menos susceptível às variações climáticas (Nascimento et al., 2012; Hilz & Vermeer, 2013; Vilela & Antuniassi) reduzindo

assim, perdas por deriva (Oliveira. Porém, seu efeito no espectro de gotas e consequentemente nas perdas por deriva, pode variar de acordo com o modelo de ponta (Cunha et al., 2010; Gandolfo et al., 2013). Pois distintos modelos de pontas respondem de forma diferente a alterações da calda de aplicação (Dorr et al., 2013; Ferguson et al., 2015b). A Utilização de adjuvantes altera as características físicas da calda e influencia o diâmetro das gotas produzidas, porém, este varia sobretudo, conforme ponta e pressão de pulverização (Spanoghe et al., 2007; Iost & Raetano, 2010; Costa et al., 2014). Além disso, o efeito dos adjuvantes nas características físico-químicas da calda dependente de sua composição química e da interação com o agrotóxico aplicado (Cunha et al., 2017).

Até que ponto essa relação entre modelos de pontas, pressões de trabalho e calda de aplicação pode ser utilizada na redução da deriva? Para responder tal pergunta, é necessário compreender a relação entre os fatores envolvidos na ocorrência da deriva e gerar, informações para os produtores reduzirem perdas e contaminações, otimizando suas operações. Portanto, este trabalho teve como objetivo, analisar a combinação de modelos de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adjuvante LI-700 na deriva do herbicida 2,4-D.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, seguindo delineamento inteiramente casualizado, em parcela sub-subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro caldas de aplicação: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e as subparcelas cinco modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14 $L.min^{-1}$: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII), leque duplo com indução de ar

– Magno AD-IA/D110 (LDI) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI). Nas sub-subparcelas tivemos quatro pressões de trabalho: 200, 300, 400 e 500 kPa.

Antes da avaliação de deriva em túnel de vento, aplicando apenas agua (ASAE S572.1, 2009), determinou-se a vazão e o espectro de gotas dos cinco modelos de pontas nas quatro pressões de trabalho, com quatro repetições. A vazão foi mensurada coletando todo o líquido pulverizado pela ponta em uma proveta com resolução de 0,005 L durante um minuto.

E o espectro de gotas foi analisado em analisador de partículas a laser (modelo Spraytech, Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido). A difração a laser é amplamente utilizada para analisar o espectro de gotas gerado pelas pontas de pulverização, dada a sua repetitividade e consistência de medições (Fritz et al., 2014). Foram determinados o DMV – diâmetro da mediana volumétrica (diâmetro da gota que divide o volume de uma população de gotículas em duas partes iguais), a AR – amplitude relativa da população de gotas. Quanto maior esse valor, maior é a variação dos diâmetros de gotas gerados na pulverização e consequentemente, menor a qualidade da aplicação (Madureira et al., 2015). E a percentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro inferior a 150 μm, que é indicador do potencial risco de ocorrência de deriva (PRD) durante a aplicação (Cunha et al., 2004).

A distância focal foi de 750 mm e a calibração realizada para o aparelho contabilizar gotículas com tamanho entre 0,10 - 2 500 μm. Para girar a barra de pulverização de tal forma que todo o jato que saía da ponta passasse transversalmente durante três segundos através do feixe de luz emitido pelo laser do analisador, foi utilizado um motor elétrico. E a ponta hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do aparelho.

Para análise da deriva, utilizou-se túnel de vento com circuito aberto e seção de teste fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A corrente de vento produzida por ventilador de três hélices acionado por um motor elétrico com 200 W

de potência. A 10 cm do ventilador, foram posicionadas duas telas, uma de nylon (malha 2 mm) e outra de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi confeccionada uma colmeia composta por 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura, comprimento e espessura de parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia é uniformizar e gerar fluxo laminar de ar proveniente do ventilador.

O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na proporção de 0,5 litros para cada 100 L de calda e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4- D NORTOX, foi de 670 g i.a. ha^{-1}, ou seja, simulação da aplicação um litro ha^{-1}, para um volume de calda de 200L ha^{-1}. Foi adicionado em todas as caldas de pulverização como traçador para a quantificação da deriva produzida, o corante alimentício azul brilhante (Corante Azul FCF, Duas Rodas Industrial), catalogado internacionalmente pela "Food, Drug & Cosmetic" como FD&C Blue n.1, na concentração de 5 g L^{-1}.

Para se detectar o deslocamento da calda pulverizada no interior do túnel de vento, foram posicionados transversalmente ao fluxo de ar, três fios coletores de nylon de 2 mm de diâmetro (ISO, 2005) situados a 0,10; 0,25 e 0,40 m do piso do túnel de vento. Em cada avaliação, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s até que o fluxo de ar se estabilizasse. Em seguida, foi ligado o sistema de pulverização durante 20 s. Após esse tempo desligava-se o sistema de pulverização e o ventilador e após 25 s, os fios coletores eram retirados.

Após a retirada dos fios coletores eles foram acondicionados em sacos plásticos transparentes contendo 50 mL de água destilada e agitados por trinta segundos. Depois, colocados em ambiente protegido da luz, para se evitar a fotodegradação do corante. As amostras foram analisadas em espectrofotômetro digital (Visible Spectrophotometer - Modelo Evolution 300 UV). Com comprimento de onda de 630 nm, faixa de detecção do azul brilhante (Palladini et al., 2005).

Em cada avaliação no espectrofotômetro, foi confeccionada uma curva de calibração com oito concentrações conhecidas da calda de aplicação contendo o corante (Figura 1). Com isso, a concentração do corante em gramas por litro em cada amostra coletada no túnel de vento foi determinada. A quantidade encontrada nos pontos de coleta foi transformada em porcentagem em relação ao total existente na calda de pulverização e em seguida, realizada a média da deriva das três alturas de coleta.

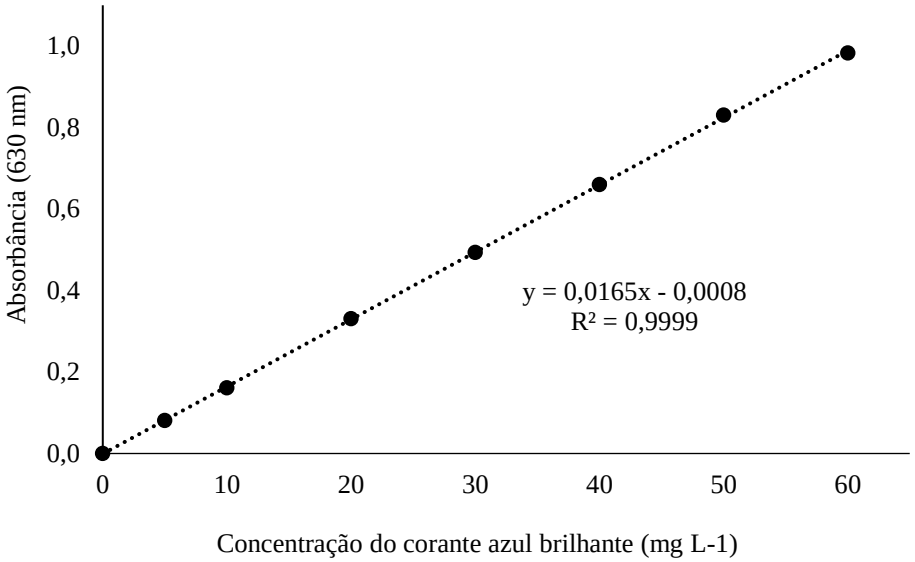


Figura 1 – Curva de calibração da absorbância em função da concentração do corante azul brilhante para detecção da deriva.

Durante as avaliações a temperatura média foi de 21,77^{0}C e umidade relativa do ar de 68,18%, condições que foram monitoradas com termo-hidro-anemômetro digital portátil modelo THAL-300. A velocidade do vento gerada pelo ventilador durante a aplicação foi de dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-anemômetro no local onde a ponta foi inserida no túnel de vento.

A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão

modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 L.min^{-1} dotada de três pistões, acionada por motor elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500, equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de precisão A3 ABNT (±0,25% FDE).

A coleta e análise dos dados foram realizadas respeitando-se os princípios da estatística experimental, amostras independentes, homocedasticidade e normalidade dos dados. A homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% para modelos de pontas e caldas de aplicação. As pressões de trabalho foram analisadas por regressão, escolhendo-se o modelo de equação gerado que melhor se ajusta, respeitando a ANOVA da regressão e o comportamento do fenômeno avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANOVA foi significativa para as variáveis DMV, PRD e AR analisadas no analisador a laser e para a interação entre modelos de pontas, caldas de aplicação e pressões de trabalho para a deriva avaliada no túnel de vento.

O modelo de ponta LS gerou o menor DMV em todas as pressões (Tabela 1), e os maiores PRDs independentemente da pressão de pulverização da calda (Tabela 2). Por outro lado, as pontas dotadas de indução de ar, LSI, LII, LDI e CVI produziram os maiores DMVs (Tabela 1) e apresentaram os menores PRDs (Tabela 2). Modelos de pontas com indução de ar produzem gotas de maior diâmetro quando comparadas com outros modelos, produzindo assim, menos deriva independentemente da calda de pulverização (Ferguson et al., 2016).

Dentre as pontas antideriva, o modelo LDI gerou os menores valores de DMV (Tabela 1) e consequentemente os maiores PRDs (Tabela 2). Por outro lado, as pontas LII e CVI se destacaram positivamente na redução da deriva gerada pelo vento. Pois, em comparação aos demais modelos, independente da pressão utilizada, a LII produziu os maiores DMVs e a CVI proporcionou a menor AR (Tabela 3).

Neste ponto, é interessante observar que mesmo não produzindo o maior DMV (Tabela 1), a ponta CVI gerou os menores PRDs (Tabela 2). Isso, ocorreu devido a sua menor AR em relação a LII (Tabela 3), assim, a LII gerou os maiores valores de DMV, porem por tem uma maior variação dos diâmetros de gotas, ela proporcionou um PRD maior. Desta forma, existe uma correlação inversa entre o PRD e o DMV, onde, o DMV pode ser usado para prever o risco de deriva (França et al., 2017), porem, para uma comparação mais rígida entre pontas deve-se observar também a variação dos diâmetros de gotas produzido por cada modelo.

Tabela 1 – Efeito da pressão de trabalho no diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

Ponta hidráulica	DMV (µm)*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	198,6 Ae	166,8 Be	153,9 Bd	148,0 Bd	
Leque simples com indução - LSI	513,4 Ac	482,2 Bc	446,9 Cb	422,3 Cb	
Leque duplo com indução - LDI	441,8 Ad	394,3 Bd	343,3 Cc	303,1 Dc	6,9
Leque impacto com indução - LII	818,4 Aa	594,1 Ba	553,1 Ca	516,7 Da	
Cone vazio com indução - CVI	612,9 Ab	545,0 Bb	452,3 Cb	420,3 Db	
CV (%)	3,6				

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Tabela 2 – Efeito da pressão de trabalho no percentual risco de deriva (PRD)

Ponta hidráulica	PRD (%)*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	33,7 Ad	43,4 Be	48,6 Ce	50,8 De	
Leque simples com indução - LSI	6,6 Ab	7,9 BCc	9,6 DCc	11,3 Dc	
Leque duplo com indução - LDI	10,3 Ac	12,9 Bd	17,0 Cd	19,1 Dd	5,0
Leque impacto com indução - LII	3,7 Aa	5,8 Bb	6,4 Bb	7,5 Bb	
Cone vazio com indução - CVI	2,9 Aa	3,1 Aa	4,2 ABa	5,0 Ba	
CV (%)	6,3				

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

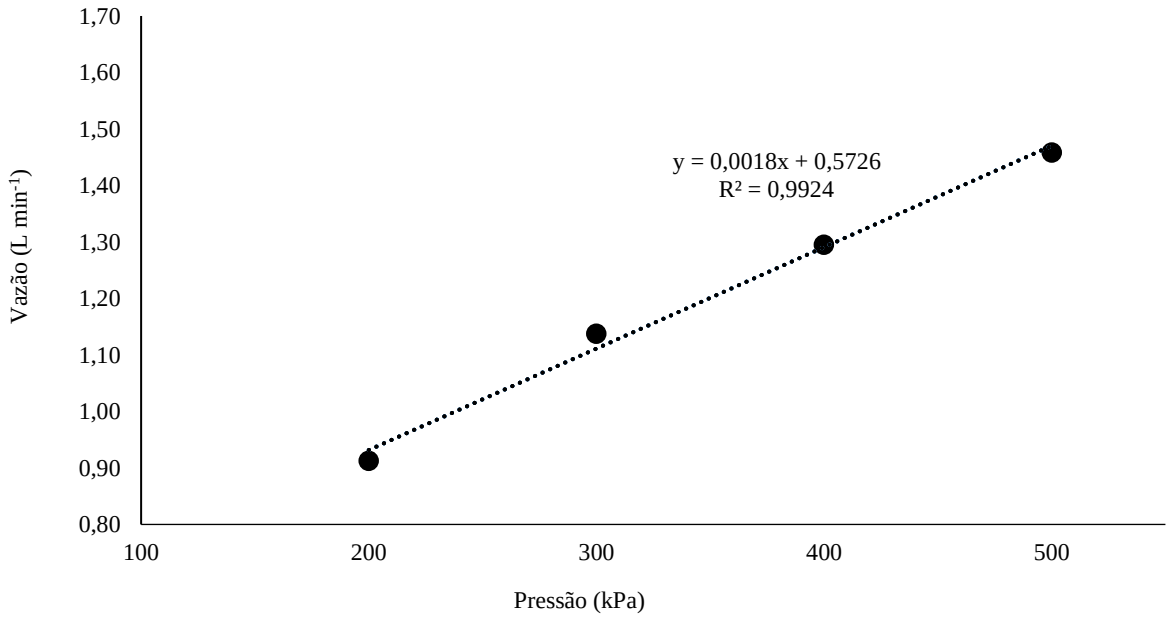
Tabela 3 – Efeito da pressão de trabalho na amplitude relativa da população de gotas (AR)

Ponta hidráulica	AR*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	1,76 Ab	1,78 Ab	1,92 Ad	2,36 Bd	
Leque simples com indução - LSI	1,91 Bb	1,74 ABb	1,67 Bb	1,73 ABbc	
Leque duplo com indução - LDI	1,89 Ab	1,73 Ab	1,75 Ac	1,72 Ab	5,39
Leque impacto com indução - LII	1,76 Ab	2,08 Bc	2,13 Bd	1,95 ABc	
Cone vazio com indução - CVI	1,52 Aa	1,44 Aa	1,37 Aa	1,36 Aa	
CV (%)	6,93				

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

O PRD é influenciado pelo modelo de ponta hidráulica e esse parâmetro é uma valiosa informação para prever o percentual de calda que poderá ser transportado pelo vento e perdido por deriva. Isso é confirmado com os dados obtidos no túnel de vento, onde as pontas com indução de ar geraram menor deriva (Figura 5), pois produziram menor quantidade de gotículas menores que 150 µm (Tabela 2).

Ademais, o aumento da pressão de trabalho aumentou linearmente a vazão (Figura 4), diminuiu o DMV (Tabela 1) e aumentou o PRD (Tabela 2) e consequentemente a deriva no túnel de vento para todos os modelos de pontas (Figura 5).



673 **Figura 2 –** Efeito da pressão de trabalho na vazão dos cinco modelos de pontas avaliados.

674

675 No entanto, dentre as pontas com indução, os modelos CVI, LII e LSI foram menos
676 sensíveis a esse aumento de pressão. Sendo, mais eficientes que o LDI em reduzir a deriva
677 quando comparadas ao modelo LS (Figura 5). A menor capacidade da LDI em reduzir a
678 deriva, é explicado pelo menor DMV e maior PRD gerados por esta ponta em relação aos
679 demais modelos com o sistema venturi (Figura 2).

680 Em relação às caldas de aplicação, o aumento da pressão sempre elevou o percentual de
681 deriva (Tabela 4). Entretanto, a adição do adjuvante LI-700 a calda com o herbicida 2,4-D,
682 reduziu a deriva nas pressões de 200, 300 e 400 kPa. Já na maior pressão de 500 kPa, a adição
683 ou não do adjuvante não produziu diferença significativa no percentual de deriva, ou seja, não
684 foi o suficiente para reduzir a deriva quando se trabalha com uma pressão mais elevada do
685 sistema.

686

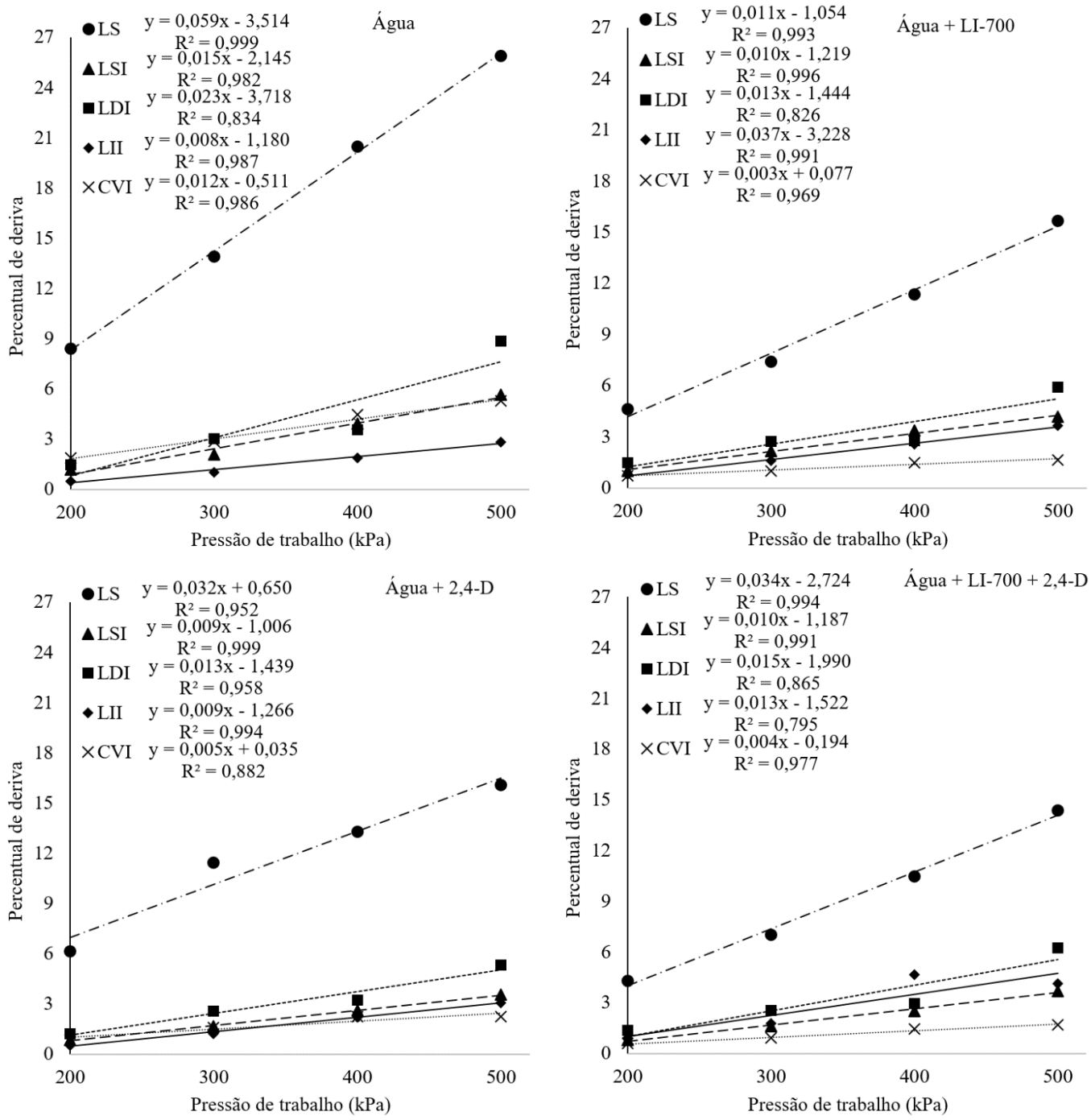


Figura 3 – Percentual de deriva coletada pulverizando quatro caldas (água, água + LI-700, água + 2,4-D, água + LI-700 + 2,4-D) em túnel de vento, utilizando cinco modelos de pontas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque simples impacto com indução (LII) e cone vazio com indução (CVI), em quatro pressões de trabalho (200, 300, 400, 500 kPa).

Tabela 4 - Efeito da calda de aplicação e da pressão de trabalho na porcentagem de deriva no túnel de vento

Calda	Porcentagem de deriva*				CV (%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
água	2,7 Ac	4,7 Bd	6,8 Cc	9,7 Dc	3,39
água + LI-700	1,7 Aa	3,0 Bb	4,3 Ca	6,2 Db	
água + 2,4-D	1,9 Ab	3,8 Bc	4,6 Cb	6,1 Da	
água + 2,4-D + LI-700	1,6 Aa	2,8 Ba	4,4 Ca	6,0 Da	
CV (%)			4,44		

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

CONCLUSÕES

A adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D nas pressões de 200, 300 e 400 kPa.

Dentre os modelos antideriva, a ponta leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 gera menor DMV, maior PRD e, consequentemente, maior deriva.

A ponta leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP, produz o maior DMV. E a cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100, proporciona a melhor uniformidade dos diâmetros de gotas.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 2009. *Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra.* ASAE S572.1. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

716 Boller, W; Raetano, CG 2011. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica,
717 regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: Antuniassi, UR., Boller, W. (Orgs.).
718 *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Aldeia Norte, Passo Fundo, Brasil. p. 51-80.
719 Costa, AGF., Velini, ED., Rossi, CVS., Corrêa, MR., Negrisoli, E., Fiorini, MV., Siono,
720 LM 2014. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo**.** *Ciência*
721 *Rural* 44:387-392.
722 Cunha, JPAR., Teixeira, MM., Vieira, RF., Fernandes, HC., Coury, JR 2004. Espectro de
723 gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. *Pesquisa*
724 *Agropecuária Brasileira* 39: 977-985.
725 Cunha, JPAR., Bueno, MR., Ferreira, MC 2010. Espectro de gotas de pontas de
726 pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha* 28: 1153-1158.
727 Cunha, JPAR., Alves, GS., Marques, RS 2017. Tensão superficial, potencial
728 hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes.
729 *Revista Ciência Agronômica* 48:261-270.
730 Dorr, GJ., Hewitt, AJ., Adkins, SW., Hanan, J., Zhang, H., Noller, B 2013. A comparison
731 of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Protection* 53:109-117
732 Egan, JF., Barlow, KM., Mortensen, DA 2014. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and
733 dicamba drift on soybean and cotton. *Weed Science* 62: 193-206.
734 Ferguson, JC., Chechetto, RG., O'Donnell, CC., Dorr, GJ., Moore, JH., Baker, GJ., Powis,
735 KJ., Hewitt AJ 2016. Determining the Drift Potential of Venturi Nozzles Compared with
736 Standard Nozzles across Three Insecticide Spray Solutions in a Wind Tunnel. *Pest*
737 *Management Science* 72:1460-1466.
738 Ferguson, JC., O'Donnell, CC., Chauhan, BS., Adkins, SW., Kruger, GR., Wang, R.,
739 Ferreira, PH., Hewitt, AJ 2015a. Assessing the Deposition and Canopy Penetration of Nozzles
740 with Different Spray Qualities in an Oat (Avena sativa L.) Canopy. *Crop Protection* 81:14-19.

741 Ferguson, JC., O'Donnell, CC., Chauhan, BS., Adkins, SW., Kruger, GR., Wang, R.,
742 Ferreira, PH., Hewitt, AJ 2015b. Determining the Uniformity and Consistency of Droplet Size
743 across Spray Drift Reducing Nozzles in a Wind Tunnel. *Crop Protection* 76:1-6.
744 França, JAL., Cunha, JPAR., Antuniassi, UR 2017. Spectrum, velocity and drift of droplets
745 sprayed by nozzles with and without air induction and mineral oil. *Engenharia Agrícola*
746 37:502-509.
747 Fritz, BK., Hoffman, WC., Kruger, GR., Henry, RS., Hewitt, A., Czaczyk, Z 2014.
748 Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing
749 laboratories. *Atomization and Sprays* 24:181-192
750 Gandolfo, MA., Chechetto, RG., Carvalho, FK., Gandolfo, UD., Moraes, ED 2013.
751 Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas. *Revista Ciência*
752 *Agronômica* 44:474-480.
753 Hilz, E., Vermeer, AWP 2013. Spray drift review: The extent to which a formulation can
754 contribute to spray drift reduction. *Crop Protection* 44:75-83.
755 Iost, CAR., Raetano, CG 2010. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de
756 soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais. *Engenharia Agrícola*
757 30:670-680.
758 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2005.
759 *Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS*
760 *22866:2005*. ISSO, Geneva. p.22.
761 Madureira, RP., Raetano, CG., Cavalieri, JD 2015. Interação pontas-adjuvantes na
762 estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. Revista Brasileira de *Engenharia*
763 *Agrícola e Ambiental* 19:180-185.

764 Nascimento, A., Oliveira, G., Balan, M., Higashibara, L., Abi Saab, O 2012. Deposição de
765 glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de
766 aplicação. *Applied Research & Agrotechnology* 5:105-116.
767 Oliveira, RB., Antuniassi, UR., Mota, AAB., Chechetto, RG 2013. Potencial de adjuvantes
768 para redução da deriva em pulverizações agrícolas. *Engenharia Agrícola* 33:986-992.
769 Palladini, LA., Raetano, CG., Velini, ED 2005. Choice of tracers for the evaluation of
770 spray deposits. *Scientia Agricola* 62:440-445.
771 Spanoghe, P., Schampheleire, M., Meeren, PV., Steubaut, W 2007. Influence of
772 agricultural adjuvants on droplet spectra. *Pest Management Science* 63:4-16.
773 Vallet, A., Tinet, C 2013. Characteristics of droplets from single and twin jet air induction
774 nozzles: A preliminary investigation. *Crop Protection* 48:63-68.
775 Vilela, CM., Antuniassi, UR 2013. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e
776 adjuvantes depositadas em superfície. *Engenharia Agrícola* 28:65-73.
777

3º CAPÍTULO - REDUÇÃO NA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE UTILIZANDO PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E ADJUVANTE LI-700

RESUMO

A deriva de herbicidas hormonais é um grande problema da agricultura pois, mesmo em baixas quantidades, podem causar grandes perdas em lavouras de plantas sensíveis ao seu modo de ação. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de pontas com indução de ar em combinação ou não com o adjuvante LI-700 na redução da deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*). Em túnel de vento, simulando à deriva em plantas de tomate, analisaram-se duas caldas: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e cinco pontas: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI). Em analisador a laser, aplicando somente água, foi determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR), e a percentagem de gotas com diâmetro <150 μm (PRD). Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Scott-Knott à 5%. As pontas CVI, LII e o adjuvante LI-700 reduzem a deriva do herbicida 2,4-d e diminuem os danos em plantas de tomate. No entanto, a escolha da ponta adequada pode reduzir a intoxicação de plantas de tomate pela metade, ao passo que a adição de LI-700 pode reduzir somente 17,5%.

Palavras-Chave: tecnologia de aplicação, tamanho de gota, túnel de vento, *Solanum lycopersicum*

REDUCTION OF DRIFT OF HERBICIDE 2,4-D IN TOMATO USING SPRAY NOZZLES WITH INDUCTION AND ADJUVANTE LI-700

ABSTRACT

The drift of hormonal herbicides is a major problem in agriculture because, even in low quantities, they can cause large losses in plant crops sensitive to their mode of action. The objective of this work was to evaluate the use of spray nozzles air induction in combination with the LI-700 adjuvant to reduce the 2,4-D herbicide drift in tomato (*Solanum lycopersicum*). In a wind tunnel, simulating adrift in tomato plants, two samples were analyzed: water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles: single fan JSF110 (LS) , single fan with air induction - Magno AD-IA110 (LSI), double fan with air induction - Magno AD-IA / D110 (LDI), simple fan with air induction - Teejet TTI110-VP (LII) and cone vacuum with air induction - Magno CV-IA100 (CVI). In the laser analyzer, only the diameter of the volumetric median (DMV), the relative amplitude (RA), and the percentage of droplets with a diameter of <150 μm (PRD) were determined. Data were submitted to ANOVA and Scott-Knott's test at 5%. The CVI, LII and the LI-700 adjuvant tips reduce the 2,4-d herbicide drift and decrease damage to tomato plants. However, choosing the right tip can reduce intoxication of tomato plants by half, while the addition of LI-700 can reduce only 17.5%.

Keywords: application technology, droplet size, wind tunnel, *Solanum lycopersicum*

INTRODUÇÃO

A deriva de agrotóxicos nas lavouras é um grande problema da agricultura, sendo fundamental o seu controle para reduzir danos financeiros, ambientais e à saúde de organismos vivos. No caso da aplicação de herbicidas hormonais, como o 2,4-D, a sua deriva pode ser ainda mais danosa, pois, mesmo em baixas quantidades, pode causar grandes perdas em lavouras de plantas sensíveis ao seu modo de ação (Egan et al., 2014).

O herbicida 2,4-D, que é um mimetizador de auxinas, é um dos mais utilizados mundialmente no controle de plantas invasoras dicotiledôneas, além de ser alternativa no controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato (Robinson et al., 2012; Craigmyle et al., 2013; Spaunhorst & Bradley 2013). Além disso, o recente desenvolvimento e liberação para plantio de culturas com genes de resistência ao 2,4-D, aumentará ainda mais a utilização deste herbicida nas propriedades rurais (Mortensen et al., 2012) e assim, consequentemente, os possíveis problemas com a sua deriva.

Dentre as culturas sensíveis ao 2,4-D, as olerícolas se destacam, pois, são fundamentais na produção de alimentos. Além de possuírem forte aspecto econômico e social, como por exemplo o cultivo de tomate que demanda elevada mão de obra durante todo o ciclo. Desta forma, a aplicação do herbicida 2,4-D próxima a lavouras de plantas como tomate, que demonstram alta sensibilidade a herbicidas auxínicos (Rocha do Nascimento & Oscar Mitsuo, 2009), deve ser planejada para máxima segurança. Pois, na ocorrência de deriva, essas plantas podem sofrer mudanças no seu metabolismo, produzindo crescimento celular desorganizado e resultando em crescimento anormal de vasos do floema e dos tecidos adjacentes, gerando epinastia da planta (Deuber, 2003).

Porém, para o controle da deriva dos agrotóxicos, existe no mercado uma grande gama de alternativas para os produtores. Como, por exemplo, pontas hidráulicas com indução de ar pelo sistema venture. Esses modelos produzem gotas de maior diâmetro do que as pontas

convencionais sem indução de ar, sendo menos propensas a serem levadas pelo vento (Miller, 2004). Elas são indicadas para aplicação de herbicidas aplicados em pré-emergência e/ou de ação sistêmica, que necessitam de menor cobertura da planta daninha (Viana et al., 2007) como no caso do herbicida 2,4-D.

Outra ferramenta disponível para o controle da deriva é a adição de adjuvantes a calda de pulverização, para melhorar suas propriedades físicas e químicas, tornando-a menos sensível às variações de temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do vento durante as aplicações (Nascimento et al., 2012; Vilela & Antuniassi, 2013). Porém, o efeito da sua utilização na calda varia conforme a ponta hidráulica utilizada (Cunha et al., 2010; Gandolfo et al., 2013; Mota & Antuniassi, 2013).

Assim, é de suma importância conhecer as ferramentas disponíveis para reduzir a ocorrência da deriva e consequentemente as perdas causadas por ela. Portanto, o objetivo deste trabalho, foi avaliar a utilização de pontas com indução de ar e do adjuvante LI-700 na redução da deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado seguindo delineamento inteiramente casualizado, em parcela subdividida. As parcelas foram constituídas por duas caldas de aplicação: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e as subparcelas cinco modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14 L.min-1: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI), com oito repetições e na pressão de trabalho de 300 kPa.

Antes da avaliação de deriva em túnel de vento, determinou-se o espectro de gotas dos cinco modelos de pontas, na pressão de 300 kPa, com quatro repetições, aplicando apenas

879 água (ASAE S572.1, 2009). Em analisador de partículas a laser (modelo Spraytech, Malvern
880 Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido). Foram determinados o DMV –
881 diâmetro da mediana volumétrica (diâmetro da gota que divide o volume de uma população
882 de gotículas em duas partes iguais), a AR – amplitude relativa da população de gotas. Quanto
883 menor a AR, menor é a variação dos diâmetros de gotas gerados na pulverização (Madureira
884 et al., 2015). E a percentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro inferior a
885 150 μm, que indica o potencial risco de deriva (PRD) durante a aplicação (Cunha et al.,
886 2004). A distância focal foi de 750 mm e a calibração realizada para o aparelho contabilizar
887 gotículas com tamanho entre 0,10 - 2 500 μm. Foi utilizado um motor elétrico para girar a
888 barra de pulverização de tal forma que todo o jato aspergido do bico passasse
889 transversalmente durante três segundos através do feixe de luz emitido pelo laser do
890 analisador. E a ponta hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do aparelho.

891 Para análise da deriva, utilizou-se túnel de vento com circuito aberto e seção de teste
892 fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A corrente
893 de vento produzida por ventilador de três hélices acionado por um motor elétrico com 200 W
894 de potência. A 10 cm do ventilador, foram posicionadas duas telas, uma de nylon (malha 2
895 mm) e outra de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi confeccionada uma
896 colmeia composta por 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura,
897 comprimento e espessura de parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia é
898 uniformizar e gerar fluxo laminar de ar proveniente do ventilador.

899 O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na dose de 0,5 litros para cada 100 L de calda
900 e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4- D
901 NORTOX, foi de 670 g i.a. ha^{-1}, ou seja, simulação da aplicação um litro ha-1, para um
902 volume de calda de 200L ha^{-1}. Para a simulação da deriva da calda pulverizada no interior do
903 túnel de vento, foram utilizadas plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), no estádio de

cinco pares de folhas verdadeiras. Em casa de vegetação as plantas foram cultivadas em vasos de 5 dm^3 preenchidos com solo de um Latossolo Vermelho Amarelo, adubado conforme recomendações para a cultura. A planta foi posicionada a dois metros da ponta de pulverização e para produzir a corrente de ar, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s até que o fluxo de ar se estabilizasse. Em seguida, foi ligado o sistema de pulverização durante 1 minuto. Após esse tempo o sistema de pulverização e o ventilador foram desligados por 25 s, e retirou-se o vaso com a planta.

A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 $L.min^{-1}$ dotada de três pistões, acionada por motor elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500, equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de precisão A3 ABNT (±0,25% FDE). Durante as aplicações a temperatura média foi de 25^0C e umidade relativa do ar de 54%, condições que foram monitoradas com termo-hidro-anemômetro digital portátil modelo THAL-300. A velocidade do vento gerada pelo ventilador durante a aplicação foi de dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-anemômetro no local onde a ponta foi inserida no túnel de vento.

As avaliações nas plantas de tomate foram feitas aos 7, 14, 21 e 28 dias após à simulação da deriva, através de análise visual de intoxicação em relação as testemunhas, onde não houve aplicação do herbicida. Para isso, foi empregada a escala que indica notas variando de 0% (nenhum dano) até 100% (morte da planta) (SBCPD, 1995). Aos 28 dias após à aplicação, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo para quantificação da matéria seca da parte aérea e o substrato dos vasos foi retirado e lavado, extraindo-se as raízes para a avaliação da

massa da matéria seca de raiz. Em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa a 65 °C durante 72 h e a massa da matéria seca (MS) de parte aérea e raiz determinada.

A homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação dos modelos de pontas no analisador a laser, a ANOVA foi significativa para as variáveis DMV, PRD e AR analisadas no analisador a laser (Tabela 1). O modelo de ponta que gerou o maior DMV (594,10 μm) foi a LII, seguido da CVI (545,00 μm). Porém, para o PRD, a ordem se inverte, as pontas CVI e LII proporcionaram os menores potencias risco de deriva 3,10 e 5,83 %, respectivamente. Isso, ocorreu pela elevada AR da LII, o que explica que ela tenha o maior DMV, mas, no entanto, não o menor PRD. Em contrapartida, o modelo LS produziu o menor DMV (166,83 μm) e consequentemente, apresentou o mais elevado PRD (43,39 %).

Tabela 1 - Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), percentagem de volume de calda contendo gotas com diâmetro inferior a 150 μm (PRD) e amplitude relativa da população de gotas (AR) gerada por cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

Ponta hidráulica	DMV (μm)*	PRD (%)*	AR*
LS	166,83 E	43,39 E	1,78 B
LSI	483,15 C	7,87 C	1,74 B
LII	594,10 A	5,83 B	2,08 D
LDI	394,33 D	12,86 D	1,73 B
CVI	545,00 B	3,10 A	1,44 A
CV (%)	5,3	6,6	4,1

*As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

Em relação a avaliação simulando à deriva no túnel de vento nas plantas de tomate, a ANOVA do percentual de intoxicação foi significativa apenas para os modelos de ponta e para as caldas ao longo das avaliações semanais, não ocorrendo interação significativa entre modelos de pontas e caldas de aplicação. Em todas as avaliações de intoxicação, a ponta LS gerou os maiores danos, por outro lado, as pontas com indução de ar, principalmente os modelos CVI e LII, produziram os menores efeitos de deriva do herbicida 2,4-d nas plantas (Figura 1).

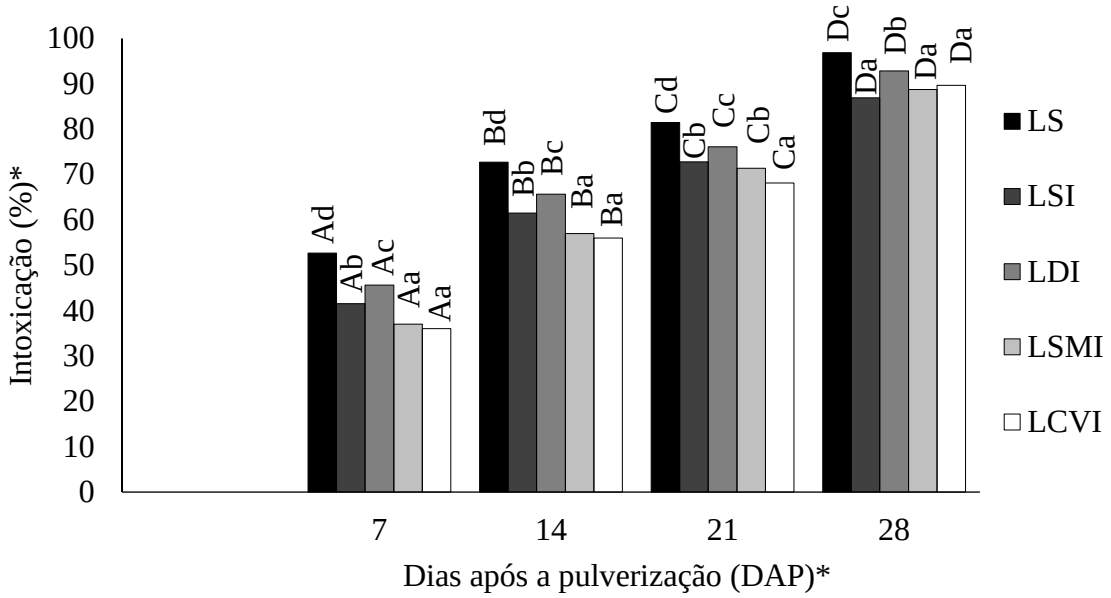


Figura 4 – Intoxicação causada pela deriva de 2,4-D em tomate com cinco pontas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque simples martelinho com indução (LSMI), e leque cone vazio com indução (LCVI). *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas para DAP e minúsculas para modelos de pontas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): 7,79 (pontas); 6,11 (DAP).

Porém, no decorrer das avaliações, a diferença de danos caudados entre as pontas dotadas do sistema venture de indução de ar foi diminuindo devido aos efeitos acumulativos do herbicida. Mas mesmo assim, a ponta LDI gerou mais danos nas plantas em comparação as demais pontas com indução de ar ao decorrer das avaliações. Esses resultados são explicados pelo maior PRD e menor DMV que essa ponta produz em relação aos demais modelos de pontas antideriva estudados neste trabalho (Tabela 1). Pois, gotas de diâmetro reduzido são mais facilmente transportadas pelo vento e perdidas por deriva (Arvidsson et al., 2011).

A adição do adjuvante LI-700 proporcionou redução significativa dos danos nas plantas, apenas na avaliação aos 28 dias após a pulverização (Figura 2). Por ser um produto de ação hormonal, o herbicida 2,4-D mesmo em baixas concentrações de seu ingrediente ativo pode ocasionar grandes problemas em plantas sensíveis (Egan et al. 2014).

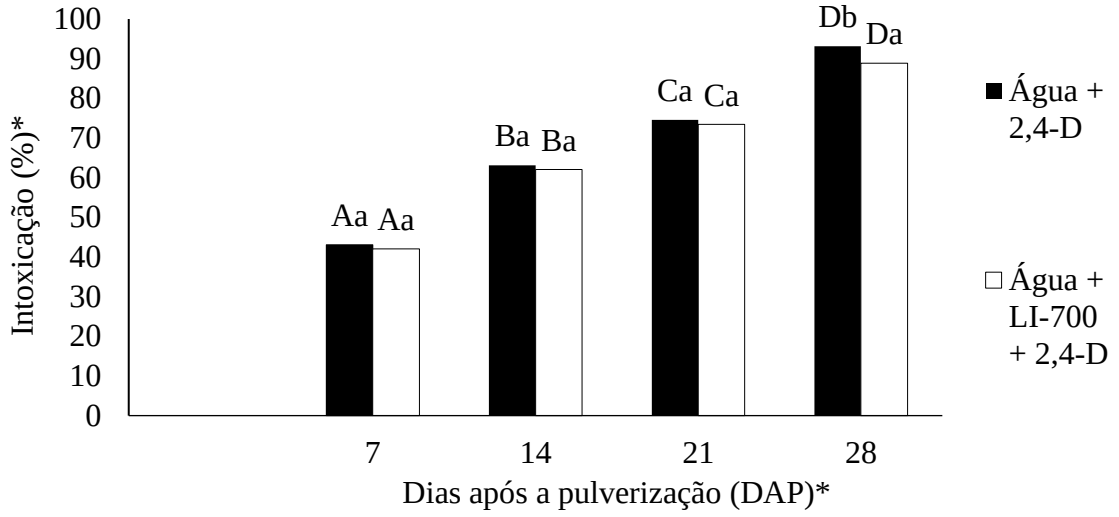


Figura 5 - Intoxicação causada pela deriva de 2,4-D em tomate com duas caldas: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas para DAP e minúsculas para pontas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): 18,47 (caldas); 6,11 (DAP).

Para a ANOVA da análise de matéria seca de parte aérea e de raiz do tomateiro, não houve interação entre calda de aplicação e modelo de ponta utilizado. Porém, as pontas hidráulicas geraram diferença significativa tanto na matéria seca da parte aérea, quanto nas raizes (Tabela 2 e 3). As plantas da simulação de deriva com todos os modelos de pontas reduziram a massa da matéria seca da parte aérea em relação a testemunha. Porem as menores reduções foram com as pontas CVI, LII e LSI, que apresentaram redução média de 40,14% em relação a testemunha (Tabela 2). Esses resultados são atribuídos ao menor PRD produzido por esses modelos de pontas (Tabela 1).

Tabela 2 – Matéria seca de parte aérea plantas de tomate após simulação de deriva do herbicida 2,4-D aplicado com cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

Matéria seca de parte aérea (g) *					
Modelo de ponta hidráulica					Testemunha
LS	LSI	LDI	LII	CVI	24,00 A
9,31 C	13,37 B	9,17 C	15,49 B	14,24 B	

*As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): 13,76.

Para a avaliação da matéria seca de raiz, as pontas CVI e LII tiveram o melhor desempenho em relação as demais, reduzindo os efeitos da deriva do 2,4-d nas plantas (Tabela 3). No entanto, ainda se observou redução de 76,94% da matéria seca de raiz em relação a testemunha sem aplicação. Os modelos de pontas CVI e LII se mostraram mais eficientes em reduzir a deriva gerada, devido ao transporte de gotas de diâmetro reduzido pelo vento. Pois, esses modelos geraram os maiores DMVs e os menores PRDs (Tabela 1) e consequentemente menores danos do herbicida nas plantas.

Tabela 3 – Matéria seca de raiz de plantas de tomate após simulação de deriva do herbicida 2,4-D aplicado com cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

Matéria seca de raiz (g) *					
Modelo de ponta hidráulica					Testemunha
LS	LSI	LDI	LII	CVI	8,39 A
0,92 C	1,15 C	0,94 C	1,81 B	2,06 B	

*As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): 17,42.

Por outro lado, a adição do adjuvante LI-700 produziu resultados significativos apenas na avaliação da matéria seca de raiz (Tabela 4). Neste caso, as plantas da simulação da deriva da calda do 2,4-D com o LI-700, tiveram 17,52% a mais de matéria seca de raiz, em relação às plantas da simulação da calda sem o adjuvante. Isso indica que a adição do adjuvante LI-700 à calda de pulverização, reduziu a deriva do herbicida 2,4-D. Assim, como foi evidenciado na avaliação de danos visuais 28 dias após a pulverização (Figura 2).

Tabela 4 – Matéria seca de raiz de plantas de tomate após simulação de deriva de duas caldas de aplicação: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700

Matéria seca de raiz (g) *		
Calda		Testemunha
água + 2,4-D	água + 2,4-D + LI-700	8,39 A
2,34 C	2,75 B	

*As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): 21,48.

CONCLUSÕES

As pontas CVI, LII e o adjuvante LI-700 reduzem a deriva do herbicida 2,4-d e diminuem os danos em plantas de tomate.

A escolha da ponta adequada pode reduzir a intoxicação de plantas de tomate pela metade, ao passo que a adição de LI-700 pode reduzir somente 17,5%.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

Arvidsson, T.; Bergström, L.; Kreuger, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, v.67, p.586-598, 2011.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. ASAE S572.1. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

Craigmyle, B.D.; Ellis, J.M.; Bradley, K.W. Influence of herbicide programs on weed management in soybean with resistance to glufosinate and 2,4-D. **Weed Technology**, v.27, p.78-84, 2013.

Cunha, J.P.A.R.; Teixeira, M.M.; Vieira, R.F.; Fernandes, H.C.; Coury, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.977-985, 2004.

Cunha, J.P.A.R.; Bueno, M.R. Ferreira, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta daninha**, v.28, p.1153-1158, 2010.

Deuber, R. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: Deuber, R. Ciência das plantas infestantes: fundamentos. 2. ed. Jaboticabal: Funep, p. 304-347, 2003.

Egan, J.F.; Barlow, K.M.; Mortensen, D.A. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, p.193-206, 2014.

Gandolfo, M.A.; Chechetto, R.G.; Carvalho. F.K.; Gandolfo, U. D.; Moraes, E.D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.474-480, 2013.

Madureira, R.P.; Raetano, C.G.; Cavalieri, J.D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.180-185, 2015.

Miller, P.C.H.; Butler Ellis, M.C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **CropProtection**, v. 19, p. 609-615, 2000.

Mortensen, D.A.; Egan, J.F.; Maxwell, B.D.; Ryan, M.R.; Smith, R.G. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, v.62, p.75-85, 2012.

Mota, A.A.B.; Antuniassi, U.R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, V.28, p.1-5, 2013.

Nascimento, A.; Oliveira, G.; Balan, M.; Higashibara, L.; Abi Saab, O. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Applied Research & Agrotechnology**, v.5, p.105-116, 2012.

Robinson, A.P.; Simpson, D.M.; Johnson, W.G. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**, v.26, p.657-660, 2012.

Rocha do Nascimento, E.; Oscar Mitsuo, Y. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. **Semina**, v.30, p.47-54, 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas.** p.42, 1995

Spaunhorst, D.J.; Bradley, K.W. Influence of dicamba and dicamba plus glyphosate combinations on the control of glyphosate-resistant waterhemp (Amaranthus rudis). **Weed Technology**, v.27, p.675-68, 2013.

Viana, R.G.; Ferreira, L.R.; Teixeira, M.M.; Cecon, P.R.; Freitas, F.C.L.; Quirino, A.L.S.; Santos, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, v.25, p.211-218, 2007.

Vilela, C.M.; Antuniassi, U.R. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e adjuvantes depositadas em superfície. **Engenharia Agrícola,** v.28, p. 65-73, 2013.