

MARIANA RODRIGUES BUENO

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NA CULTURA DA
BATATA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

MARIANA RODRIGUES BUENO

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NA CULTURA DA
BATATA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de janeiro de 2011.

Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi	UNESP
Prof. Dr. Carlos Alberto Alves de Oliveira	IFTM
Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz	UFU

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

*À minha amada mãe,
Divina Lúcia Rodrigues Bueno,
mulher guerreira, dedicada
e meu maior exemplo de vida!*
Dedico.

Agradecimentos

Quero agradecer, primeiramente, a Deus, por permitir que mais esta conquista se tornasse possível e por sempre iluminar minha vida com suas bênçãos.

O meu muito obrigada ao meu pai, João Batista Martins Bueno, e a minha mãe, Divina Lúcia Rodrigues Bueno, por dedicarem suas vidas a me amar e me ensinar valores como o respeito, a gratidão, a educação e o amor.

Agradeço também ao meu irmão, João Paulo Rodrigues Bueno, e minha irmã, Yara Rodrigues Bueno, pela amizade, pelo companheirismo e pelos momentos de alegria e descontração que jamais serão esquecidos.

Ao meu namorado e cúmplice, Mateus Aparecido Vitorino G. de Oliveira, pelo amor, pelo carinho, pela amizade e por jamais me deixar desanimar diante das dificuldades.

Ao meu orientador João Paulo Arantes R. da Cunha, pelo exemplo de profissional, pelos ensinamentos e por me orientar com seriedade, compromisso, confiança e amizade.

À Universidade Federal de Uberlândia, por abrir novamente suas portas para que eu desse continuidade aos meus estudos e ao CNPq, pelo incentivo à pesquisa e pelo apoio financeiro sem o qual não seria possível concluir este estudo.

À fazenda Água Santa (Grupo Rocheto) e ao Laboratório de Análise de Tamanho de Partículas (LAPAR) da UNESP Jaboticabal, por cederem seus espaços e parte dos recursos para a condução dos ensaios.

Quero agradecer a todos do Instituto de Ciências Agrárias e do programa de Pós-graduação em Agronomia: coordenadores, funcionários, professores, alunos e às “meninas da pós” pelo trabalho, pela vivência, pelos conselhos e pelas novas amizades que me proporcionaram momentos muito intensos de estudo e dedicação, mas também muitos outros de alegria e descontração.

Ao colega de laboratório, Guilherme Sousa Alves, pela amizade e ajuda nos projetos de pesquisa.

Aos membros da Banca, por disponibilizarem seu tempo para contribuir com seus conhecimentos neste trabalho.

E a todos: família, amigos, cunhado (Pedro A. C. Júnior), que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse projeto, a minha gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO I.....	1
1 Introdução Geral.....	1
2 Objetivo Geral.....	4
2.1 Objetivos Específicos.....	4
Referências.....	5
CAPÍTULO II: Tamanho de gotas de pontas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser.....	7
Resumo.....	8
Abstract.....	9
1 Introdução.....	10
2 Material e Métodos.....	11
3 Resultados e Discussão.....	15
4 Conclusões.....	22
Referências.....	23
CAPÍTULO III: Deposição de calda pulverizada na cultura da batata promovida pela aplicação aérea e terrestre.....	26
Resumo.....	27
Abstract.....	28
1 Introdução.....	29
2 Material e Métodos.....	31
3 Resultados e Discussão.....	37
3.1 Primeira Aplicação – Área 1	37
3.2 Segunda Aplicação – Área 2	42
4 Conclusões.....	46
Referências.....	47

CAPÍTULO IV: Características do jato aspergido na pulverização aérea e terrestre com a utilização de adjuvante.....	51
Resumo.....	52
Abstract.....	53
1 Introdução.....	54
2 Material e Métodos.....	56
3 Resultados e Discussão.....	60
3.1 Primeira Aplicação – Área 1	60
3.2 Segunda Aplicação – Área 2	64
4 Conclusões.....	67
Referências.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados.....	12
TABELA 2. Distribuição volumétrica por classe de tamanho ($Dv_{0,1}$ e $Dv_{0,5}$) das gotas pulverizadas por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.....	16
TABELA 3. Distribuição volumétrica por classe de tamanho ($Dv_{0,9}$) e percentagem do volume pulverizado, composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm , por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.....	19
TABELA 4. Amplitude relativa das gotas pulverizadas por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.....	21

CAPÍTULO III

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados.....	32
TABELA 2. Deposição de calda nas folhas inferiores e superiores da batata ($\mu\text{g cm}^{-2}$) após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.....	38
TABELA 3. Diferença entre a deposição de calda nas folhas superiores e inferiores da batata, após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.....	40
TABELA 4. Deriva e perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$) na cultura da batata após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.....	41
TABELA 5. Deposição de calda nas folhas inferiores e superiores da batata ($\mu\text{g cm}^{-2}$) após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.....	43
TABELA 6. Diferença entre a deposição de calda nas folhas superiores e inferiores da batata, após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.....	44

TABELA 7. Deriva e perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$) na cultura da batata após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda..... 45

CAPÍTULO IV

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados..... 57

TABELA 2. Diâmetro da mediana volumétrica e numérica das gotas pulverizadas após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.....61

TABELA 3. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.....62

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica e numérica das gotas pulverizadas após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.....64

TABELA 5. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.....65

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 1. a) Instalação do bico com a ponta AD-IA/D 11004. b) Lente focal de 1000 mm. c) Lente focal de 300 mm. d) Instalação do bico com a ponta MAG-2. Jaboticabal – SP, 2009..... 13

CAPÍTULO III

FIGURA 1. a) Ponta MAG - 2. b) Ponta MAG - 4. c) Ponta AD-IA/D 110 02. d) Ponta AD-IA/D 110 04. Uberlândia – MG, 2009..... 32

FIGURA 2. a) Pulverizador costal de pressão constante. b) Detalhe da barra dotada de quatro bicos. c) Detalhe dos manômetros reguladores de pressão e depósito de CO₂.Uberlândia – MG, 2009..... 33

FIGURA 3. a) Aeronave agrícola AG TRUCK - 300 utilizada nas aplicações. b) Atomizador rotativo Micronair AU 5000. Perdizes – MG, 2009..... 33

FIGURA 4. Croqui da área experimental. Perdizes – MG, 2009..... 34

FIGURA 5. a) Espectrofotômetro SP-22, Bioespectro. Uberlândia – MG, 2009. b) Lâmina de vidro junto ao solo. c) Fio preso às hastes para determinação da deriva. Perdizes – MG, 2009..... 36

CAPÍTULO IV

FIGURA 1. a) Papel sensível preso à haste. b) Exemplos de papéis sensíveis após a aplicação: gotas produzidas pelos atomizadores rotativos, pelas pontas de cone vazio (MAG - 2) e pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002), respectivamente. Perdizes – MG, 2009..... 59

RESUMO

BUENO, MARIANA RODRIGUES. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata.** 2011. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A batata é a principal olerícula cultivada no Brasil, porém apresenta grandes desafios quanto à tecnologia de aplicação de fitossanitários. A alta frequência de aplicações desses produtos, principalmente fungicidas, é a grande responsável pelo seu elevado custo de produção. Dessa forma, é necessário estudar métodos que otimizem a tecnologia com que esses produtos são aplicados, buscando-se aliar eficiência, viabilidade econômica e segurança ambiental. A pesquisa foi dividida em duas partes. A primeira etapa foi realizada em laboratório, empregando-se um delineamento inteiramente casualizado. Avaliou-se, por meio da técnica da difração de raio laser, o espectro de gotas produzido por duas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002 e AD-IA/D 11004) e duas pontas de jato cônico vazio (MAG - 2 e MAG - 4), em esquema fatorial 3 x 2, sendo: três pressões de pulverização (207, 276 e 345 kPa para as pontas de jato plano duplo e 414, 483 e 552 kPa para as pontas de jato cônico), e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico). A segunda etapa, realizada a campo, foi conduzida em duplicata em uma lavoura comercial de batata, no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis formas de aplicação (aérea a 15 e 30 L ha⁻¹ com atomizador rotativo e terrestre a 200 e 400 L ha⁻¹ com pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio); e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico). Avaliou-se a deposição, as perdas para o solo e a deriva de calda pulverizada na cultura da batata, pela técnica da adição de traçador para quantificação por espectrofotometria, e ainda o espectro de gotas por meio da análise de imagens de papéis hidrossensíveis. A partir do estudo de laboratório, concluiu-se que a adição do adjuvante reduziu o diâmetro da mediana volumétrica das gotas pulverizadas pelas pontas AD-IA/D 11002 e 11004, entretanto, teve efeito inverso com a ponta MAG - 4 e não o alterou com a ponta MAG - 2. Em condições climáticas adversas, não se recomenda a utilização de pontas de jato cônico vazio, mesmo com a adição do adjuvante testado, em virtude do alto risco potencial de deriva. As avaliações de campo permitiram concluir que a adição do adjuvante, de forma geral, proporcionou maior retenção de calda nas folhas inferiores e superiores. A diminuição do volume de aplicação proporcionou boa deposição de calda no alvo, sendo uma alternativa de redução de custo e aumento da capacidade operacional. A aplicação aérea mostrou-se tão eficiente quanto as aplicações terrestres na deposição de calda no alvo. Os menores tamanhos de gotas, assim como a menor amplitude relativa, foram produzidos pelas aplicações aéreas; em contrapartida, os maiores diâmetros de gotas e a menor percentagem de gotas menores que 100 µm foram obtidos com a utilização das pontas de jato plano duplo com indução de ar.

Palavras-chave: aplicação aérea, deposição de calda, deriva, espectro de gotas, *Solanum Tuberosum* L.

¹ Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

ABSTRACT

BUENO, MARIANA RODRIGUES. **Aerial and ground application technology in potato crop.** 2011. 72 p. Uberlândia: UFU, 2010. 67 p. Dissertation (Master Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.²

Potato is the main vegetable cultivated in Brazil, however, this crop shows great problems concerning to pesticide application technology. These high frequency of product application, specially fungicides, is responsible for increasing the costs of production. Therefore, it is necessary to study methods that may optimize the technology by which pesticides are applied, aiming to associate efficiency, economic viability and environmental safety. This research was divided into two parts: the first one was done in a laboratory, in a completely randomized design. By the laser diffraction technique, the droplet spectrum produced by two air induction twin flat-fan nozzles (AD-IA/D 11002 e AD-IA/D11004) and two hollow-cone nozzles (MAG - 2 e MAG - 4) was evaluated, in factorial design 3 x 2: three spray pressures (207, 276 and 345 kPa for twin flat-fan nozzles, and 414, 483 and 552 kPa for cone nozzles); and two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcoline + propionic acid adjuvant). The second part of this work was conducted in field, in duplicate, in a commercial potato tillage, in a completely randomized design, in factorial 6 x 2: six application forms (aerial with rotative atomizer at 15 and 30 L ha⁻¹ and ground at 200 and 400 L ha⁻¹ with air induction twin flat-fan and hollow-cone nozzles) and two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcoline + propionic acid adjuvant). Deposition, run off and drift of the spray liquid in the potato crop were evaluated by spectrophotometry technique, while the droplet spectrum was obtained by image analysis of water-sensitive papers. After the laboratory study, one could conclude that the adjuvant addition reduced the volume median diameter for the AD-IA/D 11002 and 11004 nozzles. However, it had an opposite effect with the MAG - 4 nozzles and did not change with the MAG - 2 nozzles. In adverse weather conditions, it is not recommended to use hollow cone spray nozzle, even if the adjuvant is added because the high potential risk of drift. The field evaluations showed that, in general, the adjuvant addition provided a better spray liquid retention on lower and upper leaves. The decrease of spray volume, provided a good spray liquid deposition on target, and it is an alternative for cost reduction and operational capacity increase. The aerial application was as efficient as the ground applications on the spray liquid deposition on target. The smaller droplet sizes and relative spans were produced by aerial application; however, the larger droplet diameters and the less percentage of spray volume in droplets smaller than 100 µm diameter were obtained with the use of air induction twin flat-fan nozzle.

Keywords: aerial application, spray liquid deposition, drift, droplet spectrum, *Solanum tuberosum* L.

² Major Professor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A proteção de culturas por meio da aplicação de produtos fitossanitários é um dos principais fatores que possibilitam que ela se desenvolva e produza em quantidade e qualidade, conforme o potencial genético característico de cada cultivar, uma vez que esses produtos ajudam a manter a sanidade das lavouras, deixando-as livres da competição com plantas infestantes, insetos-praga e doenças. A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) é umas das mais exigentes quanto à proteção fitossanitária, já que a ocorrência principalmente de doença fúngicas, como Requeima (*Phytophthora infestans*), e bacterianas, como Canela-preta (*Erwinia carotovora*), é muito alta e exige controle semanal na maioria das vezes.

No Brasil, de acordo com o Agriannual (AGRIANUAL, 2010), no ano de 2009 a área cultivada com batata inglesa (Ágata), cultivar mais plantada e consumida no País, foi de 139.096 ha e a produção obtida de 3.382.136 toneladas. Desse total, as regiões Sul e Sudeste abrangem 57.544 e 67.953 ha de área plantada e 1.088.821 e 1.777.778 toneladas de batata produzidas, respectivamente. Entretanto, outra cultivar vem ganhando bastante espaço no mercado nacional de olerícolas: a cultivar Asterix, conhecida por apresentar a pele arroxeadada e ser indicada para comercialização in natura e, principalmente, na forma de batata palito (frita).

Um dos grandes problemas com relação à cultura da batata é o elevado custo de produção, em média de R\$ 15.000,00 por hectare nas três safras: verão, seca e inverno (AGRIANUAL, 2010). A maior parcela desse custo é destinada às aplicações de produtos fitossanitários, necessárias em função da alta susceptibilidade da cultura a vários fitopatógenos. O tempo de exposição não acontece em uma fase específica da cultura e, sim, ao longo de todo o ciclo, o que aumenta consideravelmente a quantidade de aplicações na lavoura.

É muito importante conhecer as características do produto a ser aplicado e do alvo a ser controlado, no entanto um fato que muitas vezes é menosprezado é a forma ou a tecnologia com que esses produtos serão aplicados. É fundamental conhecer e utilizar os princípios da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários para que o

produto seja depositado de forma uniforme no alvo e este seja controlado de maneira eficaz. Dessa forma, faz-se necessário estudar métodos que otimizem a tecnologia de aplicação desses produtos e controlem o alvo de forma eficaz, buscando-se também a viabilidade econômica.

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários refere-se à colocação da quantidade correta de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e de maneira econômica, afetando o mínimo possível o ambiente (MATTHEWS, 2002). Muitos produtos foram desenvolvidos na indústria agroquímica nos últimos anos, entretanto, poucas mudanças têm ocorrido na forma pela qual eles são aplicados, pois a eficiência do tratamento não depende só da quantidade de produto ativo depositado na planta, mas também da uniformidade e da sua distribuição na superfície alvo (MENEGHETTI, 2006).

O método mais empregado para a proteção das lavouras é a aplicação terrestre com pulverizadores de barra, contudo a aplicação aérea tem crescido nos últimos anos em virtude das vantagens operacionais que apresenta, embora ainda careça de estudos. Vale destacar a alta capacidade operacional das aeronaves agrícolas, que permite a pulverização de grandes áreas em um curto intervalo de tempo.

As aplicações por vias aérea e terrestre não são necessariamente concorrentes, mas, sim, complementares, pois cada uma apresenta características próprias. Nas aplicações terrestres, além dos custos decorrentes da operação, há que se computar a redução do rendimento ocasionado pelo tráfego de máquinas aplicadoras, pois há amassamento da cultura e compactação do solo, fatores não observados nas aplicações aéreas.

Na cultura da batata, é bastante comum a utilização de volumes de calda de 400 L ha⁻¹ nas aplicações terrestres, e 30 L ha⁻¹ nas aplicações aéreas. Entretanto, são necessários estudos que visem à redução desses volumes, de forma que não se prejudique a eficiência da aplicação e contribua-se para minimizar custos e aumentar a capacidade operacional dos equipamentos de pulverização.

Essa redução de volume de pulverização requer um aprimoramento da tecnologia de aplicação empregada no campo. Entre as partes que compõem um pulverizador hidráulico terrestre, as pontas de aplicação têm importante papel, pois é através delas que são emitidas as gotas (água + produto) que entrarão em contato direto com o alvo biológico (BAUER; RAETANO, 2004). Entretanto, nem sempre a produção de gotas

por uma ponta é homogênea, uma vez que, podem ser produzidas gotas pequenas, médias e grandes por uma única ponta.

É importante definir qual o tamanho da gota que será utilizado em cada aplicação, uma vez que gotas muito grandes (maiores que 500 μm) têm tendência a escorrer para o solo e não se depositar no alvo, além de proporcionarem menor cobertura do alvo; e gotas muito finas (menores que 100 μm) são facilmente arrastadas pelo vento, mas apresentam uma melhor cobertura (MATUO *et al.*, 2005; GULER *et al.*, 2007).

Algumas tecnologias podem suprir parte desses problemas. A maior homogeneidade no tamanho de gotas pode ser obtida quando se opta pela aplicação utilizando como sistema de quebra de gotas, atomizadores rotativos. Esses produzem gotas de maior ou menor tamanho, de acordo com a necessidade da aplicação, com pequena amplitude relativa entre elas.

Outro fator que pode auxiliar na qualidade da aplicação é a adição de adjuvantes à calda. Eles podem aumentar a eficiência biológica dos ingredientes ativos, melhorando sua aderência e absorção sobre a superfície foliar, além de alguns produtos também terem ação antideriva (RYCKAERT *et al.*, 2007; COSTA, 2009) e a capacidade de reduzir a tensão superficial das gotas (VAN ZYL *et al.*, 2010). A utilização de pontas com indução de ar também é uma alternativa de redução de perdas por deriva, pois tem como característica aumentar o tamanho das gotas com o acréscimo de ar no interior delas (ZHU *et al.*, 2004; NUYTTENS *et al.*, 2007).

Diante do exposto, faz-se necessário estudar métodos que otimizem a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários na cultura da batata, visando à correta deposição do produto no alvo a fim de que ele seja controlado de forma eficaz, associado à viabilidade econômica.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi estudar métodos que otimizem a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários na cultura da batata.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar o espectro de gotas, a deposição, as perdas para o solo e a deriva de calda pulverizada na cultura da batata com a utilização de diferentes pontas, volumes e vias de aplicação, em diferentes tipos de calda (com e sem a utilização de adjuvante).

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2010: **Anuário da agricultura brasileira**. Batata. São Paulo: FNP, 2010. p. 205-211.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-284, apr./june 2004.
- COSTA, D. I. da. **Eficiência e qualidade de aplicações de fungicidas, por vias terrestre e aérea, no controle de doenças foliares e no rendimento de grãos de soja e milho**. 2009. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.
- GULER, H.; ZHU, H. E.; KERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-flan nozzles. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, apr. 2007.
- MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.
- MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e equipamentos de aplicação**. In: ABEAS-Curso de Proteção de plantas. Módulo 2. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV; 2005. 85 p. (Apostila).
- MENEGHETTI, R. C. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura do trigo**. 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- 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, n. 3, p. 333-345, july 2007.
- RYCKAERT, B.; SPANOGHE, P.; HAESAERT, G.; HEREMANS, B.; ISEBAERT, S.; STEURBAUT, W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, oct. 2007.

VAN ZYL, S. A.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 1, p. 58-67, jan. 2010.

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 87, n. 3, p. 275–283, jan. 2004.

CAPÍTULO II

TAMANHO DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS POR MEIO DA TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DO RAIOS LASER

TAMANHO DE GOTAS DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS POR MEIO DA TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DO RAIOS LASER

RESUMO

Conhecer o tamanho de gotas produzido pelas pontas de pulverização e suas condições ideais de trabalho é fator primordial para se obter uma aplicação eficiente de produtos fitossanitários. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas, submetidas a diferentes pressões e composições de calda, por meio de um analisador de partículas a laser. Em delineamento inteiramente casualizado, avaliaram-se duas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002 e AD-IA/D 11004) e duas pontas de jato cônico vazio (MAG - 2 e MAG - 4), em esquema fatorial 3 x 2: três pressões de pulverização (207, 276 e 345 kPa para as pontas de jato plano duplo e 414, 483 e 552 kPa para as pontas de jato cônico); e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico). A adição do adjuvante reduziu o diâmetro da mediana volumétrica das gotas pulverizadas pelas pontas AD-IA/D 11002 e 11004, entretanto, teve efeito inverso com a ponta MAG - 4 e não o alterou com a ponta MAG - 2. Em condições climáticas adversas, não se recomenda o uso de pontas de jato cônico vazio, mesmo com a adição do adjuvante testado, em virtude do alto risco potencial de deriva.

PALAVRAS-CHAVE: espectro de gotas, tecnologia de aplicação, surfactantes.

DROPLET SIZE OF SPRAY NOZZLES IN DIFFERENT OPERATIONAL CONDITIONS USING LASER DIFFRACTION TECHNIQUE

ABSTRACT

Knowing the droplet size that produced by spray nozzle, and the ideal working conditions of these ones it is a prime factor to obtain a uniform pesticide application. Thus, the present study aimed to evaluate the droplet spectrum of hydraulic nozzles, under different pressures and spray liquid compositions, using a laser particle size analyzer. In a completely randomized design, two air induction twin flat-fan nozzles (AD-IA/D 11002 e AD-IA/D11004) and two hollow-cone nozzles (MAG - 2 e MAG - 4) were evaluated, in factorial design 3 x 2: three spray pressures (207, 276 and 345 kPa for twin flat-fan nozzles, and 414, 483 and 552 kPa for cone nozzles); and two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcoline + propionic acid adjuvant). The addition of adjuvant reduced the volume median diameter for the AD-IA/D 11002 e 11004 nozzles, however it had an opposite effect with the MAG - 4 nozzles and not changed with the MAG - 2 nozzles. In adverse weather conditions, it is not recommended the use of hollow cone spray nozzle, even with the addition of adjuvant tested because of the high risk potential of drift.

KEYWORDS: droplet size, spray technology, surfactant.

1 INTRODUÇÃO

Uma correta aplicação de produtos fitossanitários somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que proporcionem distribuição transversal homogênea e espectro de gotas adequado (NUYTTENS *et al.*, 2007; CUNHA; SILVA; 2010). Contudo, nem sempre o tamanho das gotas produzidas segue uma distribuição uniforme, podendo ser produzidas gotas finas, médias e grossas por uma única ponta.

Pontas de jato cônico vazio e de jato plano produzem espectro de gotas bastante diferente; a maior diferença é encontrada na porcentagem de gotas pequenas (MATTHEWS, 2000; STAINIER *et al.*, 2006). Alguns pesquisadores consideram que gotas pequenas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY *et al.*, 2000; WOLF, 2000; CUNHA *et al.*, 2004).

As pontas de jato cônico vazio produzem em geral gotas pequenas, na faixa de 100 a 250 μm (variando em função da pressão de trabalho). Elas apresentam trajetórias tangenciais, que facilitam a penetração das gotas pelo dossel das plantas (ZHU *et al.*, 2004). São muito empregadas nas aplicações de fungicidas e inseticidas que necessitem de grande penetração e cobertura, principalmente em culturas com grande índice de área foliar. No entanto, há risco de contaminação ambiental e humana em função da deriva e, por isso, têm-se buscado alternativas que minimizem tais problemas (CROSS *et al.*, 2001; STAINIER *et al.*, 2006; NUYTTENS *et al.*, 2007).

Uma das alternativas para reduzir esses riscos é a utilização de pontas que produzem gotas de maior tamanho, como as pontas de jato plano duplo com indução de ar, que em geral, emitem gotas grossas, na faixa de 300 a 600 μm . Isso resulta em menor interferência das condições climáticas, sem alteração significativa na taxa de aplicação, mas com formação de gotas de diâmetros maiores (BAUER *et al.*, 2006) e redução do risco de contaminação ambiental.

Nuyttens *et al.* (2007) explicam esse fato em função do sistema venturi presente nessas pontas que, combinado ao pré-orifício, permite formação de gotas de maior tamanho com pequenas bolhas de ar em seu interior. Entretanto, ainda existe pouco estudo sobre o real potencial dessas pontas (ZHU *et al.*, 2004) e o comportamento de seu espectro de gotas em distintas condições de pulverização.

A princípio, gotas extremamente grossas são indicadas para aplicação de

herbicidas em pré e pós-emergência e dessecação em condições climáticas desfavoráveis, como baixa umidade relativa, alta temperatura e vento (VIANA *et al.*, 2007), não devendo ser empregadas quando se requer elevada cobertura do alvo. Contudo, o processo de contato dessas gotas com inclusão de ar no alvo pode levar a sua redução de tamanho, aumentando a área de contato com o alvo.

Durante uma aplicação em campo, outro fator que também influencia o espectro de gotas é a adição de adjuvantes à calda de pulverização. Com a utilização desses produtos, busca-se melhorar o molhamento foliar, a penetração, a aderência e o espalhamento da calda (PENNER, 2000; RYCKAERT *et al.*, 2007) e a redução da tensão superficial das gotas, permitindo maior contato entre as gotas e a superfície da folha pulverizada (HESS; FOY, 2000; WAGNER *et al.*, 2003; VAN ZYL *et al.*, 2010).

No entanto, grande parte dos problemas advindos da utilização de aditivos de calda origina-se do desconhecimento de sua ação e das implicações de sua utilização (ANTUNIASSI, 2006), uma vez que existem muitos produtos disponíveis no mercado, sem o devido respaldo científico. Além disso, o efeito dos adjuvantes pode ser distinto quando se altera o tipo de ponta empregado. Esses produtos alteram as características físico-químicas da calda, principalmente viscosidade e tensão superficial, (CUNHA; ALVES *et al.*, 2009) modificando, por consequência, o espectro de gotas geradas (FERREIRA *et al.*, 2009; VIANA *et al.*, 2010).

Entre as formas de se estudar o espectro de gotas, as avaliações realizadas por meio da técnica da difração de raio laser têm sido bastante empregadas dentro da área científica. O princípio dessa técnica baseia-se na medição da luz (feixe de raio laser) difratada durante a passagem das gotas pulverizadas pela região de amostragem do aparelho (SCHICK, 1997).

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulica de jato plano duplo com indução de ar e de jato cônico vazio, submetidas a diferentes pressões e composições de calda.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Análise de Tamanho de Partículas (LAPAR), do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal - SP, da Universidade Estadual Paulista.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e foi dividido em quatro partes, ou seja, cada modelo de ponta constou de uma análise, sendo avaliado isoladamente, conforme descrito na TABELA 1. Todas as pontas eram da marca Magno Jet, com orifício de saída do jato construído em cerâmica. Foram escolhidos aleatoriamente quatro exemplares de cada modelo de ponta, cada qual correspondente a uma repetição, e empregou-se um esquema fatorial 3 x 2, sendo, três pressões de pulverização e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico (712,88 g L⁻¹), na dose recomendada de 0,50% v/v (0,5 L 100 L⁻¹) (TABELA 1).

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Experimento	Ponta	Pressão (kPa)	Calda
1	AD-IA/D 110 02 ¹	207	Com adjuvante
		276	
		345	
	AD-IA/D 110 02	207	Sem adjuvante
		276	
		345	
2	AD-IA/D 110 04 ²	207	Com adjuvante
		276	
		345	
	AD-IA/D 110 04	207	Sem adjuvante
		276	
		345	
3	MAG - 2 ³	414	Com adjuvante
		483	
		552	
	MAG - 2	414	Sem adjuvante
		483	
		552	
4	MAG - 4 ⁴	414	Com adjuvante
		483	
		552	
	MAG - 4	414	Sem adjuvante
		483	
		552	

¹ Ponta de jato plano duplo com indução de ar 110 02; ² ponta de jato plano duplo com indução de ar 110 04; ³ ponta de jato cônico vazio série preta; ⁴ ponta de jato cônico vazio série vermelha.

A adição desse adjuvante (Nome comercial LI 700), de acordo com o fabricante, tem como objetivo a redução da tensão superficial das gotas de pulverização, promovendo um maior contato das gotas com o alvo, além de também atuar como agente acidificador de calda e redutor de deriva.

A análise do espectro de gotas foi realizada de forma direta, utilizando um analisador de partículas em tempo real Mastersizer S[®] (Malvern Instruments Ltd.). O diâmetro das gotas é proporcional ao ângulo do desvio sofrido pelo raio laser, dessa forma, quanto menor a partícula, maior é o ângulo de desvio que o raio de luz sofre.

Inicialmente, verificou-se o alinhamento do feixe óptico para garantir o seu correto posicionamento no sistema detector, corrigiram-se possíveis contaminações das lentes por partículas e procedeu-se à calibração do aparelho.

O equipamento dispõe de unidade óptica constituída por lente focal. Para medição do espectro de gotas das pontas AD-IA/D, utilizou-se a lente focal de 1000 mm, com capacidade de mensurar gotas com diâmetro de 4 a 3000 μm (FIGURA 1b). O bico de pulverização foi instalado na vertical a 40 cm de altura do feixe de laser e foi movimentado 55° para a direita e para a esquerda, com o intuito de que todo o jato atravessasse o feixe, de acordo com a FIGURA 1a. Para as pontas MAG, utilizou-se uma lente focal de 300 mm, capaz de analisar gotas na faixa de 0,5 a 900 μm (FIGURAS 1c e 1d).

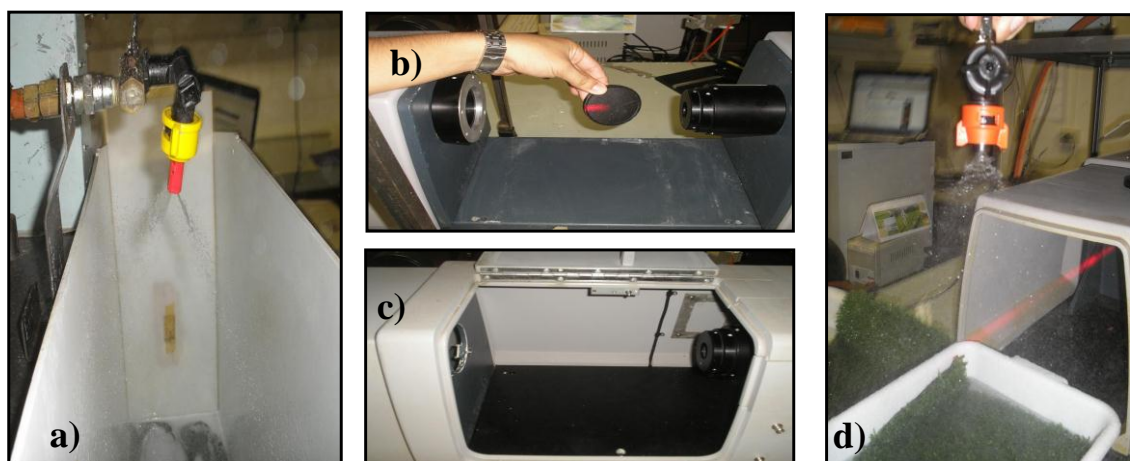


FIGURA 1. a) Instalação do bico com a ponta AD-IA/D 11004. b) Lente focal de 1000 mm. c) Lente focal de 300 mm. d) Instalação do bico com a ponta MAG-2. Jaboticabal – SP, 2009.

Para manter a pressão constante, utilizou-se de ar comprimido controlado com regulador de pressão de precisão, operado manualmente, munido de manômetro analógico calibrado para a função. O acionamento do fluxo de calda e do mecanismo de movimentação do bico foi realizado simultaneamente por meio de interruptor elétrico que comanda a válvula solenoide do circuito hidráulico e o mecanismo de oscilação do bico.

A decodificação dos dados, segundo o algoritmo elaborado para a caracterização do diâmetro de partículas por difração de raios laser, foi realizada pelo *software* Mastersizer S versão 2.19, Malvern Instruments Ltd. Os valores relacionados ao espectro de tamanho de partículas foram processados e tabulados diretamente pelo *software*, sendo apresentados de forma tabelada.

As condições ambientais durante a realização dos experimentos foram: temperatura do ar inferior a 28°C; umidade relativa do ar superior a 60%; e ausência de ventos e de luminosidade externa, uma vez que as análises foram realizadas com ausência de luz.

Foram processadas duas leituras para cada ponta e realizada a média dos resultados das análises. Avaliaram-se os seguintes parâmetros: $D_{v0,1}$ – diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, $D_{v0,5}$ – diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica (DMV), $D_{v0,9}$ – diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, AR – amplitude relativa, e $D_{v<100\ \mu\text{m}}$ – percentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100 μm .

A amplitude relativa (AR) foi determinada utilizando-se da seguinte equação:

$$AR = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}}$$

Na qual:

AR: amplitude relativa;

$D_{v0,1}$: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

$D_{v0,5}$: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

$Dv_{0,9}$: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor

Os dados de espectro de gotas foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Shapiro Wilk e de homogeneidade das variâncias de Levene, utilizando-se o programa SPSS 16. Em seguida, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e, constatada diferença significativa, as médias das características em estudo foram comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 2, encontram-se os diâmetros médios dos volumes acumulados de 10% e 50% para os quatro modelos de pontas estudados. Para a variável $Dv_{0,1}$, apenas na ponta AD-IA/D 11002, a interação entre os fatores pressão e adjuvante foi significativa, indicando a dependência entre os dois fatores; para as demais pontas, a interação não foi significativa, o que implica a não dependência entre eles. Já para a variável $Dv_{0,5}$, as duas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002 e 11004) apresentaram interação significativa entre os fatores, ao passo que, para as pontas de jato cônico vazio (MAG-2 e 4), não houve interação significativa.

Para as duas variáveis, o tamanho de gotas foi reduzido, à medida que se aumentaram as pressões de 207 a 345 kPa, para as pontas de jato plano duplo, e de 414 a 552 kPa, para as pontas de jato cônico vazio. A única exceção relatada foi a não alteração do $Dv_{0,1}$ das gotas pulverizadas pela ponta AD-IA/D 11002, nas três pressões em estudo, quando se adicionou adjuvante à calda.

Ferreira *et al.* (2009) e Viana *et al.* (2010), também estudando o espectro de gotas de pontas hidráulicas (TT, TTI e AI e TTI, AI e AIV, respectivamente) em diferentes pressões e composições de calda, observaram que o tamanho de gotas foi reduzido com o aumento da pressão (até 400 kPa).

TABELA 2. Distribuição volumétrica por classe de tamanho ($Dv_{0,1}$ e $Dv_{0,5}$) das gotas pulverizadas por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.

Pontas de Aplicação	Pressão (kPa)	$Dv_{0,1}$ (μm)			$Dv_{0,5}$ (μm)		
		Adjuvante			Adjuvante		
		Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
AD-IA/D 11002	207	171,68 Cb	96,16 Aa	133,92	543,52 Cb	309,82 Ba	426,67
	276	129,25 Bb	82,55 Aa	105,90	420,81 Bb	232,93 ABa	326,87
	345	98,99 Ab	76,89 Aa	87,94	290,39 Ab	177,32 Aa	233,86
	Média	133,31	85,20		418,24	240,03	
		CV= 12,85%			CV= 13,28%		
		$F_p=21,794^{**}$ $F_A=70,435^{**}$ $F_{PxA}=7,254^{**}$			$F_p=38,915^{**}$ $F_A=99,699^{**}$ $F_{PxA}=3,880^*$		
AD-IA/D 11004	207	126,26	112,61	119,44 B	436,95 Bb	322,01 Ba	379,48
	276	108,07	94,64	101,35 A	329,98 Ab	280,62 ABa	305,30
	345	104,15	86,23	95,19 A	273,71 Aa	246,02 Aa	259,86
	Média	112,83 b	97,83 a		346,88	282,88	
		CV= 6,83%			CV= 10,32%		
		$F_p=24,576^{**}$ $F_A=26,115^{**}$ $F_{PxA}=0,248^{ns}$			$F_p=27,622^{**}$ $F_A=23,273^{**}$ $F_{PxA}=3,909^*$		
MAG - 2	414	44,76	41,91	43,34 B	113,91	128,74	121,32 B
	483	42,91	37,91	40,41 AB	103,86	108,26	106,06 AB
	552	39,63	30,66	35,15 A	97,17	85,43	91,30 A
	Média	42,43 b	36,83 a		104,98 a	107,47 a	
		CV= 10,73%			CV= 11,69%		
		$F_p=7,621^{**}$ $F_A=10,428^{**}$ $F_{PxA}=1,066^{ns}$			$F_p=11,689^{**}$ $F_A=0,242^{ns}$ $F_{PxA}=2,322^{ns}$		
MAG - 4	414	48,03	42,13	45,08 B	141,42	160,69	151,06 B
	483	45,29	39,38	42,33 B	131,71	144,68	138,20 A
	552	39,60	37,78	38,69 A	122,91	130,30	126,61 A
	Média	44,31 b	39,76 a		132,02 a	145,23 b	
		CV= 6,33%			CV= 6,51%		
		$F_p=11,607^{**}$ $F_A=17,482^{**}$ $F_{PxA}=1,578^{ns}$			$F_p=14,691^{**}$ $F_A=12,857^{**}$ $F_{PxA}=0,866^{ns}$		

CV: coeficiente de variação; F_p : valor do F calculado para o fator pressão; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{PxA} : valor do F calculado para a interação entre os fatores pressão e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Cunha *et al.* (2007), avaliando pontas de jato plano (API e ADI) e jato cônico vazio (ATR), verificaram que estas últimas apresentaram comportamento de espectro de gotas diferenciado. Nas pontas de jato plano, o diâmetro das gotas diminuiu com o incremento da pressão, corroborando com os resultados desse trabalho. Entretanto, observaram que o aumento da pressão nas pontas de jato cônico vazio não influenciou o diâmetro das gotas nas pressões estudadas. Os autores justificam que a magnitude de variação de tamanho de gotas em função da pressão nas pontas de jato cônico vazio é menor do que nas pontas de jato plano.

Nota-se também uma redução significativa do diâmetro médio das gotas do volume acumulado de 10%, quando se adicionou o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico à calda de pulverização, para todas as pontas e pressões estudadas. Com relação ao $Dv_{0,5}$, esse não foi alterado apenas para a ponta AD-IA/D 11004 na máxima pressão (345 kPa) e para a ponta MAG-2, em todas as pressões, com a adição o adjuvante.

Ferreira *et al.* (2009), ao avaliarem o diâmetro das gotas produzidas por pontas de pulverização hidráulica com caldas de diferentes adjuvantes, verificaram que a adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico à calda reduziu o tamanho das gotas produzidas por pontas de jato plano defletor com indução de ar - TTI, entretanto não alterou o diâmetro das pontas de jato plano com indução de ar - AI e jato plano de grande ângulo - TF-2.

Já Iost (2008), avaliando o efeito de adjuvantes com potencial antideriva (nonil-fenol etoxilado+óxido de etileno, fosfatidilcoline+ácido propiônico, nonil fenol etoxilado, lecitina e polímero glicol silano) no tamanho de gotas, notou pouco efeito no diâmetro da mediana volumétrica, nas doses recomendadas pelos fabricantes.

Ocorreu grande diferença quanto ao desempenho das pontas de jato plano duplo com indução de ar e de jato cônico vazio quando há presença do adjuvante na calda de aplicação. Para as pontas de indução de ar (com exceção do tratamento citado anteriormente), o adjuvante tem a capacidade de reduzir o tamanho médio das gotas pulverizadas, entretanto, quando a aplicação é realizada com a ponta de jato cônico vazio MAG - 4, o adjuvante aumentou o $Dv_{0,5}$ das gotas.

Possivelmente, essa diferenciação ocorreu devido à complexidade do processo de formação de gotas em pontas de indução de ar, ainda pouco conhecido e estudado. O sistema venturi presente nestas pontas, combinado ao pré-orifício, permite formação de

gotas de maior tamanho com pequenas bolhas de ar em seu interior, tendo comportamento diferente de gotas sólidas (NUYTTENS *et al.*, 2007).

A maioria dos adjuvantes com função espalhante tem em sua composição propriedades redutoras de tensão superficial. Essa, por sua vez, pode levar também à diminuição do tamanho das gotas; contudo a magnitude desse processo não é muito grande e varia de acordo com a ponta empregada (BUTLER-ELLIS *et al.*, 2001). Esse fato ajuda a explicar o comportamento apresentado pelas pontas estudadas.

O diâmetro médio do volume acumulado de 90% e a percentagem do volume pulverizado composto por gotas pulverizadas de tamanho menor que 100 μm são detalhados na TABELA 3. Para ambas as variáveis, não houve interação significativa entre pressão e adjuvante, o que indica que esses fatores são independentes um do outro.

Com relação ao $Dv_{0,9}$, é perceptível a redução do diâmetro médio das gotas pulverizadas à medida que se aumentou a pressão de trabalho para as quatro pontas em estudo. Os diâmetros médios variaram de 554,60 a 879,48 μm para gotas produzidas pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002 e 11004) e de 206,76 a 318,37 μm para as pontas de jato cônico vazio (MAG - 2 e 4).

Para as pontas de indução ar, a adição do adjuvante à calda reduziu significativamente o diâmetro médio das gotas do volume acumulado de 90%, já que, como visto anteriormente, esse adjuvante tem a capacidade de reduzir o diâmetro médio ($Dv_{0,5}$) das gotas produzidas por esse tipo de ponta (TABELA 2). Já para as pontas de jato cônico vazio, houve uma diferença de comportamento entre as duas pontas, seguindo o mesmo já observado anteriormente para a variável $Dv_{0,5}$. Para a ponta MAG - 2, a utilização do adjuvante não interferiu no $Dv_{0,9}$ das gotas, entretanto, para a ponta MAG - 4, o mesmo adjuvante, quando presente na calda, aumentou o valor do $Dv_{0,9}$.

Câmara *et al.* (2008), estudando o espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida, observaram maior valor do $Dv_{0,9}$ para a pressão de 200 kPa com a adição de surfactantes com propriedade tensoativa, entretanto esse não diferiu na pressão de 400 kPa, do tratamento com água.

A interpretação dos dados de percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm (TABELA 3) permite que se estime o potencial de deriva da aplicação. Assim, nota-se que, as pontas de jato cônico vazio estão relativamente mais sujeitas à deriva que as pontas de indução de ar, independentemente da pressão de trabalho, e que, quanto maior essa pressão, maior a porcentagem de gotas aspergidas menor que 100 μm .

TABELA 3. Distribuição volumétrica por classe de tamanho ($Dv_{0,9}$) e percentagem do volume pulverizado, composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm , por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.

Pontas de Aplicação	Pressão (kPa)	$Dv_{0,9}$ (μm)			Gotas < 100 μm (%)		
		Adjuvante			Adjuvante		
		Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
AD-IA/D 11002	207	1017,84	739,13	879,48 C	3,67	11,06	7,36 A
	276	906,91	558,95	732,93 B	5,80	14,65	10,23 AB
	345	766,56	342,64	554,60 A	10,52	21,45	15,98 B
	Média	897,10 b	546,91 a		6,66 a	15,72 b	
		CV= 15,16%			CV= 53,48%		
		$F_p=17,574^{**}$ $F_A=61,428^{**}$ $F_{p \times A}=0,881^{ns}$			$F_p=4,304^*$ $F_A=13,729^{**}$ $F_{p \times A}=0,177^{ns}$		
AD-IA/D 11004	207	991,21	720,89	856,05 B	5,84	7,98	6,91 A
	276	816,62	639,93	728,28 AB	8,32	11,06	9,69 B
	345	712,25	563,70	637,98 A	9,07	13,57	11,32 B
	Média	840,03 b	641,51 a		7,74 a	10,87 b	
		CV= 16,30%			CV= 15,74%		
		$F_p=6,589^{**}$ $F_A=16,222^{**}$ $F_{p \times A}=0,558^{ns}$			$F_p=18,569^{**}$ $F_A=27,293^{**}$ $F_{p \times A}=1,393^{ns}$		
MAG - 2	414	256,06	268,40	262,23 B	43,07	37,70	40,39 A
	483	228,32	242,94	235,63 AB	47,92	46,33	47,13 AB
	552	217,23	196,30	206,76 A	51,62	60,97	56,30 B
	Média	233,87 a	235,88 a		47,54 a	48,34 a	
		CV= 11,87%			CV= 17,40%		
		$F_p=7,925^{**}$ $F_A=0,031^{ns}$ $F_{p \times A}=1,020^{ns}$			$F_p=7,331^{**}$ $F_A=0,055^{ns}$ $F_{p \times A}=1,680^{ns}$		
MAG - 4	414	308,87	327,87	318,37 B	33,33	30,10	31,71 A
	483	292,66	308,80	300,73 A	36,63	34,28	35,46 A
	552	283,24	292,14	287,69 A	40,37	38,35	39,36 B
	Média	294,93 a	309,60 b		36,78 a	34,24 a	
		CV= 3,99%			CV= 8,22%		
		$F_p=13,065^{**}$ $F_A=8,905^{**}$ $F_{p \times A}=0,373^{ns}$			$F_p=13,712^{**}$ $F_A=4,515^{ns}$ $F_{p \times A}=0,092^{ns}$		

CV: coeficiente de variação; F_p : valor do F calculado para o fator pressão; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; $F_{p \times A}$: valor do F calculado para a interação entre os fatores pressão e adjuvante.

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Quanto menor essa percentagem, menor o risco de deriva durante uma aplicação de produto fitossanitário, uma vez que gotas menores que 100 μm são mais propensas à deriva, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY *et al.*, 2000; WOLF, 2000; CUNHA *et al.*, 2004).

Em geral, valores inferiores a 15% do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm parecem ser mais adequados a uma aplicação segura (CUNHA *et al.*, 2003). Portanto, a utilização de pontas de jato cônico vazio deve ser feita com bastante critério, evitando-se aplicações em condições ambientais adversas como: temperatura do ar acima de 30°C, umidade relativa menor que 55% e ventos com velocidade acima de 12 km h⁻¹.

Novamente, confirma-se o comportamento do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico de reduzir o tamanho das gotas emitidas pelas duas pontas de jato plano duplo com indução de ar, já que, com a sua adição à calda, houve maior percentagem de gotas pulverizadas menores que 100 μm . O mesmo não aconteceu com as duas pontas de jato cônico vazio, para as quais não houve diferença quanto à utilização de adjuvante. A redução de tamanho de gotas é desejada, principalmente quando o objetivo da aplicação é realizar uma boa cobertura ao alvo, uma vez que gotas menores proporcionam maior cobertura sobre a cultura.

Encontram-se na TABELA 4, os valores médios referentes à amplitude relativa das quatro pontas estudadas. Apenas para a ponta AD-IA/D 11002, a interação entre os dois fatores avaliados foi significativa, demonstrando uma dependência entre os mesmos.

Os valores médios de amplitude relativa tiveram um comportamento diferente em função da calda de aplicação. Para a calda sem o adjuvante, a maior pressão, seguida da pressão intermediária (345 e 276 kPa) obtiveram os maiores valores de amplitude relativa. Em contrapartida, quando a calda estava com adjuvante, a menor pressão, seguida da pressão intermediária (207 e 276 kPa) proporcionaram os maiores valores de amplitude relativa.

Para a ponta MAG-4, os valores de amplitude relativa diferiram entre si apenas na variável pressão, e quanto ao uso do adjuvante na calda não houve diferença estatística. Os menores valores de amplitude relativa foram observados quando as pontas foram submetidas às pressões de 414 e 483 kPa.

TABELA 4. Amplitude relativa das gotas pulverizadas por pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com e sem a adição de adjuvante à calda.

Amplitude Relativa (AR)				
Pontas de Aplicação	Pressão (kPa)	Adjuvante		Média
		Sem	Com	
AD-IA/D 11002	207	1,560 Aa	2,068 Bb	1,814
	276	1,848 ABa	2,028 Ba	1,938
	345	2,322 Bb	1,484 Aa	1,903
	Média	1,910	1,860	
		CV= 14,57%		
		F _P = 0,436 ^{ns}	F _A = 0,197 ^{ns}	F _{PxA} = 13,057**
AD-IA/D 11004	207	1,991	1,865	1,921 A
	276	2,147	1,912	2,030 A
	345	2,211	2,045	2,130 A
	Média	2,117 a	1,941 a	
		CV= 13,30%		
		F _P = 1,107 ^{ns}	F _A = 2,536 ^{ns}	F _{PxA} = 0,084 ^{ns}
MAG - 2	414	1,855	1,765	1,810 A
	483	1,784	1,912	1,848 A
	552	1,830	1,894	1,862 A
	Média	1,823 a	1,857 a	
		CV= 8,85%		
		F _P = 0,218 ^{ns}	F _A = 0,259 ^{ns}	F _{PxA} = 0,952 ^{ns}
MAG - 4	414	1,827	1,779	1,803 A
	483	1,878	1,874	1,876 AB
	552	1,984	1,952	1,968 B
	Média	1,897 a	1,869 a	
		CV= 3,96%		
		F _P = 9,873**	F _A = 0,853 ^{ns}	F _{PxA} = 0,181 ^{ns}

CV: coeficiente de variação; F_P: valor do F calculado para o fator pressão; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{PxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores pressão e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Já para as pontas AD-IA/D 11004 e MAG-2 não houve diferença significativa para nenhum dos fatores envolvidos na análise. De forma geral, é possível dizer que, nas condições avaliadas, o adjuvante não propiciou aumento da uniformidade das gotas geradas. Ferreira *et al.* (2009) em seu estudo também não encontraram alteração nos valores de amplitude relativa para as pontas TT, TTI e AI com adição do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda de pulverização.

4 CONCLUSÕES

A elevação da pressão do líquido reduziu o diâmetro da mediana volumétrica, independente da ponta utilizada ou do emprego do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico.

A adição do adjuvante à calda reduziu o diâmetro da mediana volumétrica das gotas pulverizadas pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar AD-IA/D 11002 e 11004, entretanto, teve efeito inverso com a ponta de jato cônico vazio MAG - 4 e não o alterou com a ponta de jato cônico vazio MAG - 2, demonstrando a complexidade do entendimento do efeito do adjuvante no espectro de gotas.

Em condições climáticas adversas, não se recomenda a utilização de pontas de jato cônico vazio, mesmo com a adição do adjuvante testado, em virtude do elevado risco de deriva. Esse não foi influenciado pela adição do adjuvante quando se empregaram estas pontas.

A uniformidade das gotas geradas pelas pontas de jato cônico vazio não foi influenciada pela adição do adjuvante à calda. Com relação às pontas de jato plano duplo com indução de ar, os resultados variaram em função da pressão empregada e da vazão nominal da ponta.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, p. 17-22, 2006.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 546-551, maio/ago. 2006.
- BUTLER-ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. **Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, Amsterdam, v. 180, n. 3, p. 267-276, may 2001.
- 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 XR 11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, out./dez. 2008.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, London, v. 20, n. 4, p. 333-343, may 2001.
- CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, R. A. M. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n.1, p. 52-58, jan./fev. 2010.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, set. 2009.
- 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**, Jaboticabal, v. 27, n.esp., p. 10-15, jan. 2007.
- 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**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 977-985, out. 2004.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, maio/ago. 2003.

FERREIRA, M. C.; FERNANDES, A. P.; ROMÁN, R. A. A. Potencial de deriva das gotas grossas produzidas por pontas de pulverização de energia hidráulica, com caldas de diferentes adjuvantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. 1 CD-ROM.

HESS, F. D.; FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. **Weed Technology**, Washington, v. 14, n. 4, p. 807–813, oct./dec. 2000.

IOST, C. A. R. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide Application Methods**. 2. ed. Oxford: Blackwell, 2000. 405 p.

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**, London, v. 75, n. 2, p. 127-137, feb. 2000.

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, n. 3, p. 333-345, july 2007.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed Technology**, Washington, v. 14, n. 4, p. 785-791, oct./dec. 2000.

RYCKAERT, B.; SPANOGHE, P.; HAESAERT, G.; HEREMANS, B.; ISEBAERT, S.; STEURBAUT, W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, oct. 2007.

STAINIER, C.; DESTAIN, M. F.; SCHIFFERS, B.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, London, v. 25, n. 12, p. 1238-1243, dec. 2006.

SCHICK, R. J. **An engineer's practical guide drop size**. Wheaton: Spraying Systems, 1997. 28 p.

VAN ZYL, S. A.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 1, p. 58-67, jan. 2010.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, abr./jun. 2010.

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**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 211-218, jan./mar. 2007.

WAGNER, P.; FÜRSTNER, R.; BARTHLOTT, W.; NEINHUIS, C. J. Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 385, p. 1295-1303, apr. 2003.

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

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 87, n. 3, p. 275-283, jan. 2004.

CAPÍTULO III

DEPOSIÇÃO DE CALDA PULVERIZADA NA CULTURA DA BATATA PROMOVIDA PELA APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE

DEPOSIÇÃO DE CALDA PULVERIZADA NA CULTURA DA BATATA PROMOVIDA PELA APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE

RESUMO

A busca por métodos alternativos, eficazes e mais baratos de aplicação de fitossanitários é constante, entretanto, deve ser aliada à correta deposição do produto químico no alvo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a deposição de calda pulverizada na cultura da batata, promovida pela aplicação aérea e terrestre, com duas composições de calda. O experimento foi conduzido em duplicata, em uma lavoura comercial de batata, no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis formas de aplicação (aérea a 15 e 30 L ha⁻¹ com atomizador rotativo e terrestre a 200 e 400 L ha⁻¹ com pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio); e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico). Avaliou-se deposição de calda no dossel da cultura, perdas para o solo e deriva, pela técnica da adição de traçador para quantificação por espectrofotometria. A adição do adjuvante, de forma geral, proporcionou maior retenção de calda nas folhas inferiores e superiores. A diminuição do volume de aplicação proporcionou boa deposição de calda no alvo, sendo uma alternativa de redução de custo de produção e aumento da capacidade operacional. A aplicação aérea mostrou-se tão eficiente quanto às aplicações terrestres na deposição de calda no alvo.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia de aplicação, aviação agrícola, ponta de pulverização, deriva.

SPRAY DEPOSITION IN POTATO CROP PROMOTED BY AERIAL AND GROUND APPLICATIONS

ABSTRACT

It is constant the search for alternative, effective and cheaper methods of pesticide application, however, it should be combined with the correct pesticide deposition on target. Thus, the aim of this study was to evaluate the sprayed liquid deposition in potato crop, promoted by aerial and ground applications, with two spray liquid composition. The experiment was conducted in duplicate, in a commercial potato tillage, in completely randomized design, in factorial 6 x 2: six application forms (aerial with rotative atomizer at 15 and 30 L ha⁻¹ and ground at 200 and 400 L ha⁻¹ with air induction twin flat-fan and hollow-cone nozzles) and with two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcoline + propionic acid adjuvant). It was evaluated spray liquid deposition in the crop canopy, run off and drift, by addition of a tracer for quantification by spectrophotometry technique. In general, the adjuvant addition, provided a better spray liquid retention into lower and upper leaves. The decrease of spray volume, provided a good spray liquid deposition on target, and it is an alternative of production cost reduction and increase of the operational capacity. The aerial application was as efficient as the ground applications on the spray liquid deposition on target.

KEY WORDS: application technology, aerial application, spray nozzle, drift.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das mais exigentes quanto à necessidade de aplicação de produtos fitossanitários, principalmente para o controle de doenças, cuja frequência das aplicações pode ser semanal. Isso implica estudar métodos mais eficazes de controle, com menores custos de produção e riscos ao meio ambiente, visando a alternar, além do princípio ativo dos produtos químicos, a tecnologia com que esses são aplicados.

A eficiência da tecnologia de aplicação é condicionada pela adequada colocação e distribuição do produto no alvo (MATTHEWS, 2002). Para tanto, a escolha da forma de pulverização é fundamental para que se obtenha uma gota de tamanho ideal, somada ao momento correto de aplicação, compondo um conjunto de fatores que devem ser considerados na tomada de decisão para o controle do alvo (MADALOSSO, 2007; FARINHA *et al.*, 2009).

Atualmente, existe uma tendência de redução dos volumes de aplicação, a fim de diminuir os custos de produção e elevar a capacidade operacional das aplicações. Para atender a essa necessidade, houve grande evolução na disponibilidade de equipamentos para aplicação, inclusive de pontas, hoje com diversas características de pulverização, distribuição e tamanho de gotas (BAUER *et al.*, 2006).

Para Antuniassi (2006), o processo de formação de gotas por uma ponta de pulverização pode ser alterado, não só pelo tipo de ponta utilizado, mas também pela adição de adjuvantes à calda de aplicação. Carbonari *et al.* (2005) e Ryckaert *et al.* (2007), relatam ainda que o uso correto dos adjuvantes pode aumentar significativamente o desempenho do produto aplicado. Entretanto, o aumento na eficiência da aplicação também pode causar um aumento do impacto ambiental pela presença da molécula do adjuvante no ambiente.

Entre os equipamentos de aplicação de fitossanitários mais utilizados no País, os pulverizadores terrestres de funcionamento hidráulico são os mais comuns. Existem vários tipos de pulverizadores hidráulicos, que vão desde os mais simples, como os do tipo costal manual, até equipamentos maiores e mais sofisticados, como os autopropelidos equipados com controladores eletrônicos (FERNANDES *et al.*, 2007). Contudo, a perda por amassamento (JUSTINO *et al.*, 2006), a compactação do solo e a

baixa capacidade operacional quando comparados a métodos como a aplicação aérea, são alguns de seus limitantes.

A aplicação aérea é recente em muitas culturas, mas tem demonstrando grande aplicabilidade, principalmente pela alta capacidade operacional, que torna possível a pulverização de grandes áreas num curto espaço de tempo. A aplicação aérea de defensivos é uma ferramenta valiosa na agricultura, quando realizada segundo critérios técnicos bem definidos (CORRÊA *et al.*, 2004; CUNHA; CARVALHO, 2005). Entretanto, o grande entrave quanto ao uso desse método é a falta de informações quanto à eficiência das aplicações, em comparação às aplicações terrestres.

A deposição de calda de maneira eficiente, segura e econômica nas aplicações hidráulicas só é possível quando se dispõem de pontas que produzem distribuição de calda homogênea e gotas de tamanho e número uniformes (VIANA *et al.*, 2009; NUYTENS *et al.*, 2007; CUNHA; SILVA, 2010).

O mesmo princípio se aplica às aeronaves agrícolas, seja a barra dotada de pontas ou de atomizadores rotativos. Esses, por sua vez, produzem gotas mais uniformes, permitindo que se trabalhe com menores volumes de aplicação, o que conseqüentemente pode reduzir perdas para o solo e deriva.

A deriva de fitossanitários continua sendo um dos maiores problemas da agricultura (SUMNER; SUMNER, 1999; TSAI *et al.*, 2005). O desvio da trajetória que impede as gotas produzidas de atingirem seu alvo está relacionado, principalmente, ao tamanho das gotas e às condições ambientais (CUNHA, 2008). Dessa forma, a prevenção da deriva deve ser sempre levada em conta nas aplicações de produtos fitossanitários (GULER *et al.*, 2007).

Entre os métodos utilizados para avaliar a deposição de calda, e perdas por escorrimento e deriva durante as aplicações de fitossanitários, a adição de traçadores à calda de pulverização, para análise por espectrofotometria tem sido amplamente utilizada em pesquisas científicas. O princípio desse método é baseado na quantificação da coloração dada por absorbância, na faixa de detecção do corante utilizado, com o uso do espectrofotômetro (PALLADINI *et al.*, 2005).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a deposição de calda, as perdas para o solo e a deriva na pulverização da cultura da batata, proporcionada pela aplicação aérea e terrestre, em diferentes condições operacionais e com duas composições de calda.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Água Santa – Grupo Rocheto, situada no município de Perdizes, MG, a uma altitude de 1100 m. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Mecanização Agrícola, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia, MG.

O experimento foi realizado em duplicata, em duas áreas de pivô central de 80 ha cada (área 1 e área 2), correspondendo a duas aplicações que foram realizadas no dia 18 julho de 2009 e 19 de setembro de 2009. Em ambas as áreas, predominava o solo do tipo latossolo vermelho distrófico e elas foram cultivadas com milho na safra de verão 2008/2009, e na safra de inverno 2009, época da presente pesquisa, com batata.

O sistema de cultivo empregado foi o plantio convencional, cultivado com batata cultivar Asterix de ciclo de 120 dias. Ela foi plantada nos dias 19 de maio de 2009 na área 1, e em 11 de junho na área 2, de forma mecanizada, com espaçamento de 0,38 m entre plantas, 0,8 m entre linhas e profundidade de plantio de 0,12 m. Os tratos culturais pertinente à cultura, como adubação, amontoamento e tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com a necessidade da cultura e cronograma da fazenda.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 2, avaliando-se seis formas de aplicação e duas composições de calda. As formas de aplicação foram compostas pela combinação de tipo de pulverização (aérea e terrestre) e volume de aplicação conforme descrito na TABELA 1.

Todas as pontas utilizadas na aplicação terrestre são de funcionamento hidráulico, da empresa Magno Jet, e possuem orifício de saída do jato constituído em cerâmica (FIGURA 1). Já na aplicação aérea, utilizaram-se atomizadores rotativos de tela como sistema de quebra de gota, variando-se a posição da unidade de restrição variável (URV) do atomizador para obtenção dos volumes avaliados.

A calda foi composta por água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico ($712,88 \text{ g L}^{-1}$), na dose recomendada de 0,50% v/v ($0,5 \text{ L } 100 \text{ L}^{-1}$). De acordo com o fabricante, trata-se um adjuvante não-iônico redutor de tensão superficial e antideriva.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Formas de Aplicação		Tipo de calda
	Tipo de Pulverização	Volume de Calda (L ha ⁻¹)	
1	Aérea - Atomizador Rotativo Micronair AU 5000	30	Com adjuvante
2			Sem adjuvante
3	Aérea - Atomizador Rotativo Micronair AU 5000	15	Com adjuvante
4			Sem adjuvante
5	Terrestre - Ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 02)	200	Com adjuvante
6			Sem adjuvante
7	Terrestre - Ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 04)	400	Com adjuvante
8			Sem adjuvante
9	Terrestre - Ponta de jato cônico vazio (MAG - 2)	200	Com adjuvante
10			Sem adjuvante
11	Terrestre - Ponta de jato cônico vazio (MAG - 4)	400	Com adjuvante
12			Sem adjuvante

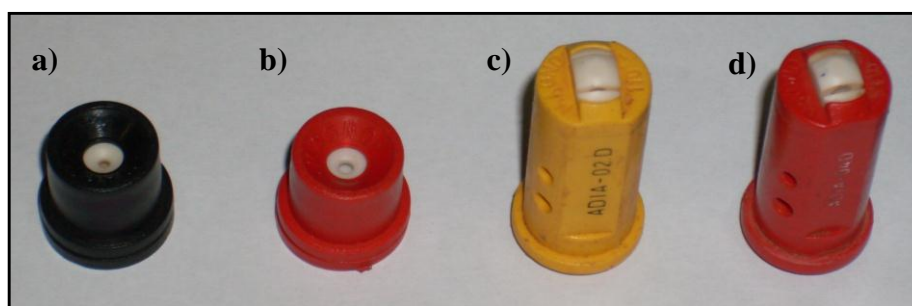


FIGURA 1. a) Ponta MAG - 2. b) Ponta MAG - 4. c) Ponta AD-IA/D 110 02. d) Ponta AD-IA/D 110 04. Uberlândia – MG, 2009.

Nas aplicações terrestres, utilizou-se um pulverizador costal de pressão constante (CO₂), dotado de barra com quatro bicos espaçados de 0,5 m entre si e 0,5 m em relação à cultura (FIGURA 2), a uma velocidade de aplicação de 4 km h⁻¹. As parcelas experimentais constaram de 51,2 m², sendo 6,4 m de largura e 8 m de comprimento, e foi mantida sempre uma distância longitudinal de 6 m entre as parcelas. A área útil da parcela foi equivalente a 19,2 m², para isto descartaram-se duas linhas de cada lado da parcela e um metro de cada extremidade (FIGURA 4).

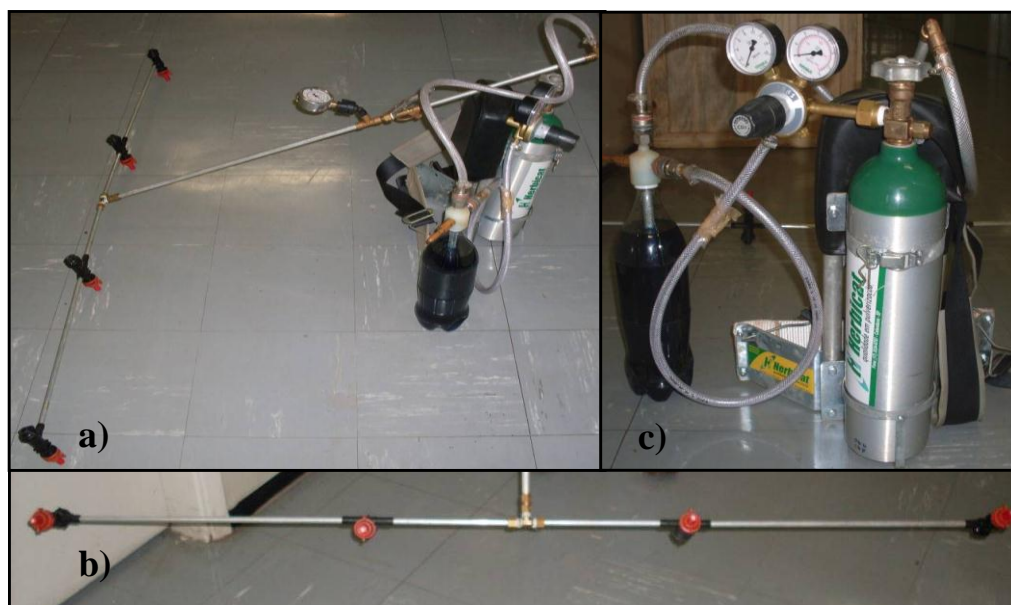


FIGURA 2. a) Pulverizador costal de pressão constante. b) Detalhe da barra dotada de quatro bicos. c) Detalhe dos manômetros reguladores de pressão e depósito de CO₂. Uberlândia – MG, 2009.

Nas aplicações aéreas, utilizou-se uma aeronave agrícola Cessna AG TRUCK - 300, dotada de oito atomizadores rotativos de tela Micronair AU 5000 (FIGURA 3). A altura de vôo foi de 3 m em relação à cultura, a velocidade de aplicação de 110 milhas h⁻¹ (177 km h⁻¹) e o ângulo das pás do atomizador de 45°. O tamanho das parcelas foi de 19.200 m², correspondente a 300 m de comprimento e 64 m de largura, equivalente a quatro passadas de 16 m do avião. Após a aplicação, foi estabelecida uma distância lateral de 50 m entre cada parcela. A área útil foi correspondente à 1920 m², da qual descartaram-se 20 m de cada lado e 110 m de cada extremidade (FIGURA 4).



FIGURA 3. a) Aeronave agrícola AG TRUCK - 300 utilizada nas aplicações. b) Atomizador rotativo Micronair AU 5000. Perdizes – MG, 2009.

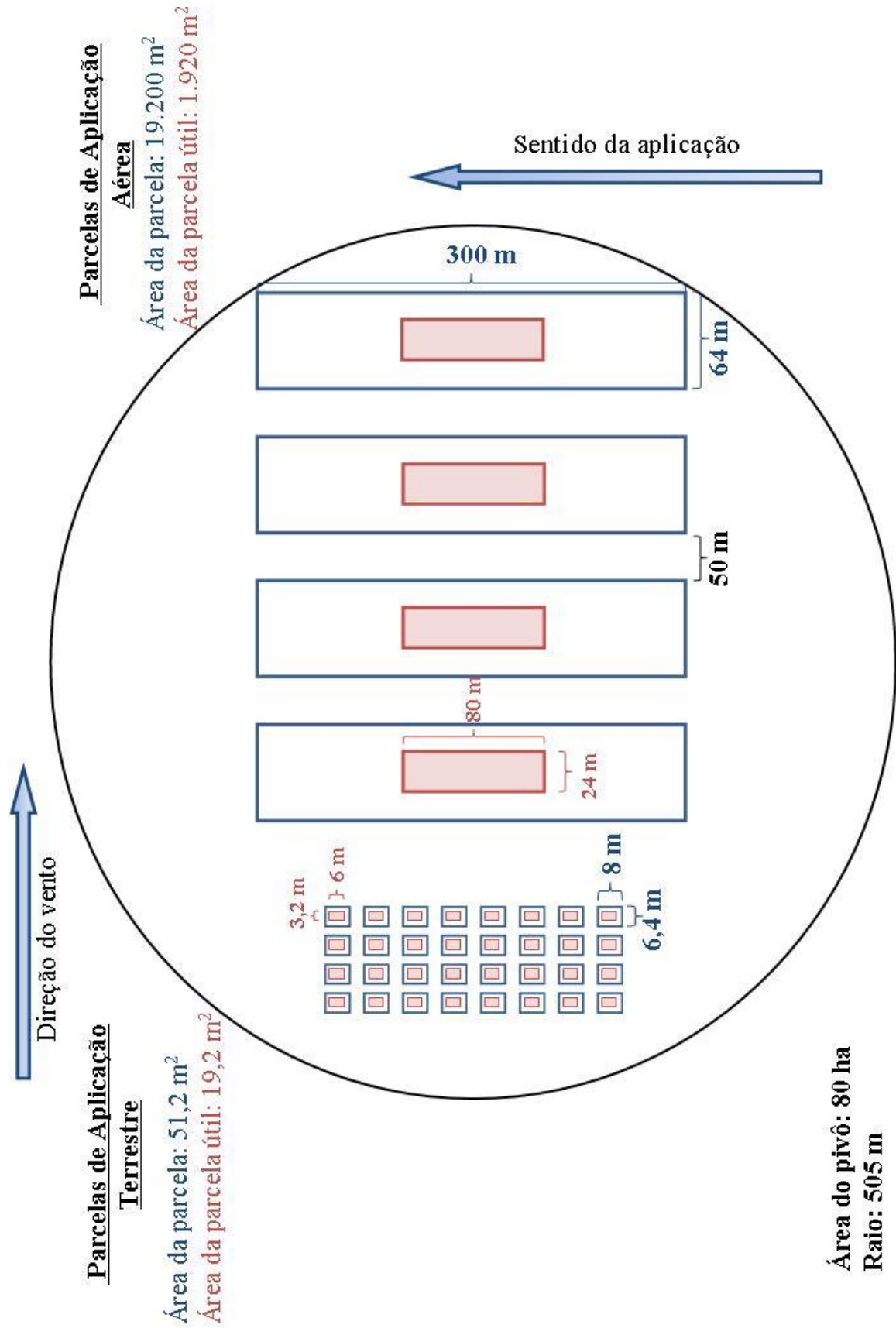


FIGURA 4. Croqui da área experimental. Perdizes – MG, 2009.

As pressões durante as aplicações foram constantes e, na aplicação terrestre para as pontas de jato plano duplo, a pressão se manteve em 207 kPa e para as pontas de jato cônico, em 483 kPa. Na aplicação aérea, a pressão foi mantida em 186 kPa.

As aplicações foram realizadas sempre na direção perpendicular ao vento; as condições ambientais das duas aplicações foram diferentes. Na primeira aplicação, as condições ambientais médias foram: umidade relativa do ar de 64%, temperatura do ar de 24°C e velocidade do vento de 8,6 km h⁻¹. Na segunda aplicação, a umidade relativa do ar média foi de 62,2%, a temperatura do ar de 26,5°C; e velocidade do vento de 10,5 km h⁻¹. Utilizou-se um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel[®] 4000 Pocket Weather Tracker) para monitorar as condições ambientais.

O objetivo das aplicações era simular o controle de doenças fúngicas. Desse modo, avaliaram-se os seguintes parâmetros: deposição de calda de pulverização no dossel inferior e superior da cultura da batata, perdas para o solo e deriva, todos por meio da técnica da adição de traçador à calda para quantificação por espectrofotometria. Calculou-se também a diferença percentual entre a deposição de calda nas folhas superiores e inferiores, em relação à deposição nas folhas superiores.

Para a avaliação dos depósitos, foi utilizado um traçador composto do corante alimentício azul, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n.1 (azul brilhante), na dose de 400 g ha⁻¹ (ajustando-se a quantidade de corante adicionada ao tanque em função do volume de aplicação empregado), para ser detectado por absorvância em espectrofotometria.

Para tanto, foi utilizado um espectrofotômetro (fotômetro fotoelétrico de filtro), com lâmpada de tungstênio-halogênio (FIGURA 5a). A quantificação da coloração foi feita por absorvância em 630 nm, faixa de detecção do corante azul utilizado, conforme metodologia apresentada por Palladini *et al.* (2005).

Para análise da deposição no dossel da cultura, após a pulverização, foram marcadas dez plantas escolhidas ao acaso em cada parcela e, em cada planta, duas folhas coletadas: uma na parte superior e outra na parte inferior da planta. As folhas foram agrupadas por posição na planta e colocadas em recipientes plásticos contendo 100 mL de água destilada. Esses recipientes foram fechados, agitados por 30 segundos e acondicionados em caixa térmica para posterior leitura da absorvância em laboratório.

A área das folhas foi medida pelo programa de análise de imagens *Image Tool* (University of Texas, Texas, USA), após serem digitalizadas com resolução espacial de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits. Com o uso das curvas de calibração,

obtidas por meio de soluções-padrão, os dados de absorvância foram transformados em concentração (mg L^{-1}) e, de posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retido no alvo. Procedeu-se, então, à divisão do depósito total pela área foliar de remoção, obtendo-se, assim, a quantidade em $\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha.

Para determinar as perdas de calda para o solo, foram colocadas em cada tratamento dezesseis lâminas de vidro (com área de $37,24 \text{ cm}^2$ cada) sendo quatro lâminas por repetição, no solo, próximas ao caule da planta (FIGURA 5b). Após a aplicação, essas foram recolhidas, separadas por tratamento e colocadas em recipientes de plástico contendo 100 mL de água destilada. A quantificação do traçador foi feita de forma semelhante à realizada nas folhas.

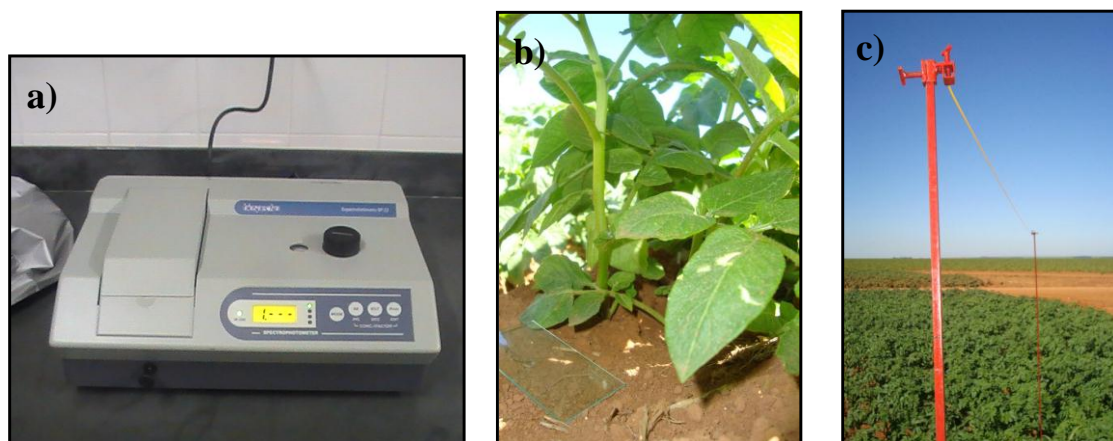


FIGURA 5. a) Espectrofotômetro SP-22, Biospectro. Uberlândia – MG, 2009. b) Lâmina de vidro junto ao solo. c) Fio preso às hastes para determinação da deriva. Perdizes – MG, 2009.

Com relação à análise de deriva, foram colocados quatro fios de polietileno (ISO, 2005), de 4m de comprimento e 2mm de diâmetro, a uma altura de 2m paralelos ao solo, presos a duas hastes de ferro, numa distância de 5m externamente paralelos à borda da parcela, no sentido do vento (FIGURA 5c). Após a aplicação, os fios foram colocados em sacos plásticos com 100 mL de água destilada, para posterior quantificação da coloração por espectrofotometria. Não foram empregadas distâncias maiores para medição de deriva, tendo em vista a limitação da metodologia empregada de detecção do traçador, no que se refere a quantificação de resíduos muito diminutos.

A perda por deriva nas aplicações aéreas não foi calculada, tendo em vista a dificuldade de se determinar com exatidão o limite final das parcelas para colocação dos marcos coletores, o que poderia incorrer em erros. Além disso, a faixa de deposição total da aeronave não foi mensurada antes de se iniciarem as aplicações e esta, por sua vez, é maior do que a faixa de deposição efetiva empregada.

Os dados de deposição, perdas para o solo e deriva foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias de Levene utilizando-se o programa SPSS 16. Em seguida, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) e, constatada diferença significativa, as médias das características em estudo foram comparadas pelo teste Tukey, a 0,05 de probabilidade. Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas aplicações foram avaliadas separadamente, uma vez que o objetivo do experimento era verificar o comportamento das características em estudo (deposição de calda, perdas para o solo e deriva) em condições de campo distintas (condições ambientais e de estágio de desenvolvimento da cultura).

3.1 Primeira Aplicação – Área 1

Na TABELA 2, têm-se os valores de deposição de calda nas folhas inferiores e superiores da batata após a primeira aplicação. Não houve interação significativa entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante, o que mostra a independência entre eles.

Nota-se que a deposição nas folhas inferiores da cultura foi menor que nas folhas superiores. A cultura da batata na área 1, no momento da aplicação, encontrava-se no estágio III – no máximo desenvolvimento vegetativo (FILGUEIRA, 2008). O índice de área foliar (IAF) da planta é parte importante na qualidade da aplicação. Plantas bem desenvolvidas possuem maior área foliar a ser protegida, conseqüentemente, impõem maior dificuldade à deposição das gotas na pulverização (BOLLER *et al.*, 2007), principalmente na parte inferior das plantas.

TABELA 2. Deposição de calda nas folhas inferiores e superiores da batata ($\mu\text{g cm}^{-2}$) após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Folhas inferiores ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			Folhas superiores ($\mu\text{g cm}^{-2}$)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,207	0,308	0,257 A	0,570	0,680	0,625 AB
Aérea - 30	0,308	0,252	0,280 A	0,679	0,760	0,719 A
Terrestre - 200 C '	0,316	0,384	0,350 A	0,691	0,633	0,662 AB
Terrestre - 400 C	0,211	0,353	0,282 A	0,488	0,599	0,543 BC
Terrestre - 200 IA''	0,311	0,339	0,325 A	0,595	0,684	0,639 AB
Terrestre - 400 IA	0,276	0,311	0,293 A	0,391	0,518	0,455 C
Média	0,271 b	0,325 a		0,569 b	0,646 a	
	CV= 29,16%			CV= 17,93%		
	F _F =1,211 ^{ns}		F _A =4,492*	F _F =5,969**		F _A =5,947*
	F _{FxA} =1,230 ^{ns}			F _{FxA} =0,780 ^{ns}		

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Avaliando-se as formas e volumes de aplicação, nota-se que não houve diferença entre os tratamentos quanto à deposição nas folhas inferiores. Já para as folhas superiores das plantas, as aplicações aéreas com 15 e 30 L ha⁻¹ proporcionaram retenção de líquido semelhante às aplicações terrestres com menor volume de calda (200 L ha⁻¹), independente do tipo de ponta.

Silva (2009) em contrapartida, estudando diferentes volumes de aplicação aérea na cultura do arroz e Limberger (2006) em feijão, encontraram diferenças quanto à deposição apenas no terço inferior das plantas, com maior retenção de líquido nas folhas quando utilizaram os menores volumes de calda.

As aplicações com maior volume de calda (400 L ha⁻¹) resultaram em menor retenção de calda na folhagem superior, diferindo do trabalho de Ozeki (2006). O autor afirma que, nas aplicações com volumes maiores, as gotas resultantes da pulverização tendem a estabelecer-se na parte superior da planta, diminuindo a retenção na parte mais interna do dossel. Contudo, é de se esperar que maiores volumes causem maior escoamento da parte superior para a inferior e solo, o que pode explicar essa baixa deposição de calda nos volumes de 400 L ha⁻¹.

Zhu *et al.* (2004), avaliando a deposição de quatro tipos de pontas (jato plano simples, jato plano duplo, jato cônico vazio e jato plano com indução de ar), mostraram que, em cultivo com linha simples de amendoim, aos 46 dias após o plantio, as aplicações com pontas de jato plano duplo proporcionaram maior densidade de cobertura nas três posições avaliadas (superior, média e inferior), seguida da ponta de indução de ar; enquanto as pontas de jato cônico vazio, a menor deposição de gotas. E aos 104 dias após o plantio, com a cultura mais enfolhada, a ponta de jato plano duplo apresentou maior deposição na parte superior e mediana, e a ponta de indução de ar, na posição inferior da planta.

A adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico proporcionou maior retenção de calda tanto nas folhas inferiores quanto nas folhas superiores. Isso pode ser explicado porque esses produtos têm como característica melhorar o molhamento, o espalhamento, a aderência, e a penetração da calda de pulverização no interior da cultura (MENDONÇA *et al.*, 2007; RYCKAERT *et al.*, 2007).

Carbonari *et al.* (2005), estudando a deposição de calda em grama-seda com diferentes pontas (XR 110 02VS e TX-VK 8) e com a adição dos adjuvantes Aterbane (alcofenóis com óxido de eteno e sulfonatos orgânicos) e Silwet L-77 (copolímero de poliéster e silicone), também notaram maior deposição de calda nas plantas quando se acrescentou adjuvante à calda. Van Zyl *et al.* (2010), avaliando a quantidade e a qualidade da deposição de calda com a adição de diferentes adjuvantes em videira, também obtiverem boa deposição nas folhas superiores e inferiores quando nesta havia presença do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico

Ao avaliar deposição de calda no dossel da cultura, é importante verificar também a uniformidade de distribuição de líquido, ou seja, se a diferença entre a quantidade de calda retida nas folhas superiores é pouca ou muito diferente da quantidade retida nas folhas inferiores. Assim, quanto menor essa diferença, melhor a distribuição de calda durante a aplicação.

Nota-se, pela TABELA 3, que a interação entre formas de aplicação e adjuvante não foi significativa, o que indica a independência entre esses dois fatores. A menor diferença foi encontrada quando se aplicaram 400 L ha⁻¹ com a ponta AD-IA/D 110 04, no entanto, esta não diferiu dos demais tratamentos de aplicação terrestre.

Os dois tratamentos de aplicação aérea apresentaram menor uniformidade de deposição de gotas entre o dossel superior e inferior das plantas, contudo sem se diferenciarem dos tratamentos terrestres, com exceção da aplicação com 400 L ha⁻¹ e

ponta de indução de ar. Provavelmente, isso tenha ocorrido devido à tendência dos maiores volumes de calda em promover menor retenção de calda na folhagem superior. Com relação à adição de adjuvante, a ausência ou presença desse na calda não interferiu na diferença entre as deposições nas folhas inferiores e superiores das plantas de batata.

TABELA 3. Diferença entre a deposição de calda nas folhas superiores e inferiores da batata, após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Diferença (%)		
	Adjuvante		Média
	Sem	Com	
Aérea - 15	62,86	54,41	58,64 B
Aérea - 30	54,41	67,07	60,74 B
Terrestre - 200 C'	53,51	38,86	46,18 AB
Terrestre - 400 C	51,57	42,50	47,03 AB
Terrestre - 200 IA''	48,13	49,00	48,56 AB
Terrestre - 400 IA	29,53	38,14	33,84 A
Média	50,00 a	48,33 a	
CV= 31,14 %			
F _F =3,225* F _A =0,143 ^{ns} F _{FxA} =1,001 ^{ns}			

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Na TABELA 4, encontram-se os valores médios de deriva e perdas para o solo, para os quais a interação entre os fatores estudados foi significativa, demonstrando a dependência entre eles. Para deriva, os tratamentos terrestres com volumes de 200 e 400 L ha⁻¹ com pontas AD-IA/D 110 02 e AD-IA/D 110 04, sem adjuvante, apresentaram os menores valores de deriva. Não houve diferença com relação ao volume de aplicação, indicando que a utilização de menores volumes de calda (200 L ha) não resulta em maior intensidade de deriva, o que difere de autores como Wolf & Frohberg (2002) e Cunha *et al.* (2005), que encontraram maior intensidade de deriva com menores volumes de calda, estudando os mesmos tipos de ponta (jato plano e jato cone vazio).

Cunha *et al.* (2005), avaliando a deriva de pontas de jato plano standard e de jato cônico vazio, também verificaram que a pulverização com os pontas de jato cônico

proporcionaram maior deposição de gotas fora da área-alvo, em relação às pontas de jato plano.

TABELA 4. Deriva e perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$) na cultura da batata, após a primeira aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Deriva ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			Perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	-	-	-	0,103 Aa	0,109 ABa	0,106
Aérea - 30	-	-	-	0,269 Bb	0,122 ABa	0,196
Terrestre - 200 C'	0,073 Bb	0,029 Aa	0,051	0,244 ABb	0,018 Aa	0,131
Terrestre - 400 C	0,077 Bb	0,028 Aa	0,052	0,296 Bb	0,106 ABa	0,201
Terrestre - 200 IA''	0,007 Aa	0,005 Aa	0,006	0,480 Cb	0,206 Ba	0,343
Terrestre - 400 IA	0,008 Aa	0,013 Aa	0,011	0,958 Db	0,250 Ba	0,604
Média	0,041	0,019		0,392	0,135	
	CV= 51,37 %			CV= 26,00 %		
	F _F =20,947**		F _A =16,968**	F _F =59,012**		F _A =168,065**
	F _{FxA} = 6,542**			F _{FxA} = 24,744**		

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

A deriva para os tratamentos aéreos não foi calculada conforme explicado no item material e métodos.

As pontas de jato cônico vazio, normalmente, produzem grande volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm , que são mais sujeitas à deriva; além disso, a turbulência gerada por esses bicos, que ora auxilia a penetração do jato no dossel das plantas, também pode provocar efeito oposto: quando a folhagem densa impede a entrada das gotas, o movimento do ar provoca a suspensão delas, que ficam mais sujeitas aos fenômenos climáticos como a deriva.

Para os tratamentos com pontas de jato cônico, houve uma redução significativa de deriva, quando se adicionou adjuvante à calda, o que não ocorreu para as pontas de jato plano duplo com indução de ar. Possivelmente, isso tenha ocorrido em virtude do espectro de gotas dessas pontas, que são muito distintas. O adjuvante conseguiu reduzir as gotas muito finas das pontas de jato cônico vazio, que existem em baixa quantidade nas pontas de indução de ar.

Os tratamentos terrestres com 200 e 400 L ha⁻¹ com pontas de jato plano duplo com indução de ar proporcionaram tendência de maiores valores de perda de calda para o solo, que foi significativamente reduzido quando se adicionou adjuvante à calda. Este também reduziu o escorrimento para os demais tratamentos, exceto para a aplicação aérea com 15 L ha⁻¹ de calda.

3.2 Segunda Aplicação – Área 2

Os valores médios de deposição na parte inferior e superior das plantas de batata, para a segunda aplicação, encontram-se na TABELA 5. Nota-se que não houve interação significativa entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante, comprovando a independência entre eles.

Com relação às formas e volumes de aplicação, não houve diferença significativa entre os tratamentos de aplicação aérea e terrestre avaliados, quanto à deposição nas partes inferior e superior da cultura. Entretanto, houve diferença quando se utilizou adjuvante na calda de aplicação, que proporcionou uma melhor retenção de calda nas duas posições estudadas.

Scudeler *et al.* (2004), estudando a influência apenas de pontas de pulverização hidráulicas na deposição de calda sobre a cultura da batata, concluíram que a ponta de jato cônico (JA-4) promoveu maior depósito de calda no baixeiro das plantas, em relação à ponta de jato plano (AVI 110 04); contudo, na parte superior das plantas as duas pontas comportaram-se de maneira semelhante.

Já autores como Silva (2009) e Matuo *et al.* (2005), avaliando formas de pulverização aérea, relataram que os atomizadores apresentaram maior penetração de gotas em relação a bicos hidráulicos, uma vez que gotas menores são mais eficientemente captadas pelo alvo.

Como não houve diferença entre as formas de aplicação, isso permite inferir que a aplicação aérea foi tão funcional quanto a terrestre e que a deposição foi melhorada quando se adicionou o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda de aplicação.

TABELA 5. Deposição de calda nas folhas inferiores e superiores da batata ($\mu\text{g cm}^{-2}$) após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha^{-1})	Folhas inferiores ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			Folhas superiores ($\mu\text{g cm}^{-2}$)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,314	0,326	0,320 A	0,401	0,488	0,445 A
Aérea - 30	0,305	0,371	0,338 A	0,558	0,618	0,588 A
Terrestre - 200 C '	0,250	0,485	0,368 A	0,569	0,700	0,634 A
Terrestre - 400 C	0,273	0,322	0,298 A	0,545	0,536	0,541 A
Terrestre - 200 IA"	0,423	0,445	0,434 A	0,562	0,655	0,609 A
Terrestre - 400 IA	0,266	0,295	0,281 A	0,477	0,602	0,539 A
Média	0,305 b	0,374 a		0,519 b	0,600 a	
	CV= 31,45 %			CV= 22,97 %		
	$F_F=2,152^{\text{ns}}$		$F_A=4,972^*$	$F_F=2,208^{\text{ns}}$		$F_A=4,826^*$
	$F_{FxA}=1,225^{\text{ns}}$			$F_{FxA}=0,319^{\text{ns}}$		

'C: ponta de jato cônico vazio; "IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F : valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA} : valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Na área 2, a cultura da batata se encontrava no estágio IV – maturação dos frutos e início do processo de senescência das folhas (FILGUEIRA, 2008). Assim, a cultura estava com uma massa foliar menos densa, permitindo uma maior penetração de gotas no interior das plantas, e uma menor diferença entre as deposições nas folhas superiores e inferiores, conforme consta na TABELA 6. Esse fato dificilmente ocorre quando a planta está com um alto índice de massa foliar (BOLLER *et al.*, 2007).

Não houve diferença significativa para nenhum dos fatores avaliados. A diferença entre as deposições teve uma variação menor (entre 26,86 % e 46,44 %) do que o ocorrido na primeira aplicação (entre 30,84 % e 60,74 %).

Provavelmente isso tenha acontecido, porque, nesta aplicação, houve maior penetração de gotas no baixeiro das plantas, uma vez que a cultura apresentava folhagem menos densa e com menor impedimento físico para que as gotas penetrassem no interior das plantas de batata.

TABELA 6. Diferença entre a deposição de calda nas folhas superiores e inferiores da batata, após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Diferença (%)		
	Adjuvante		Média
	Sem	Com	
Aéreo - 15	20,89	32,82	26,86 A
Aéreo - 30	44,63	36,29	40,46 A
Terrestre - 200 C'	48,84	32,01	40,43 A
Terrestre - 400 C	45,91	38,34	42,12 A
Terrestre - 200 IA''	24,74	32,10	28,42 A
Terrestre - 400 IA	43,81	49,07	46,44 A
Média	38,14 a	36,77 a	
CV= 57,98%			
F _F =1,066 ^{ns} F _A =0,048 ^{ns} F _{FxA} =0,528 ^{ns}			

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Na TABELA 7, são apresentados os dados de deriva e perdas de calda para o solo. Analisando-se a deriva, não se obteve interação significativa entre as variáveis estudadas. Novamente, os menores valores de deriva foram encontrados nos dois tratamentos terrestres com pontas de jato plano duplo com indução de ar.

O vento em excesso causa deriva, prejudicando a qualidade da aplicação e ocasionando perdas do produto aplicado; e pouco vento (velocidade < 2 km h⁻¹) não permite uma adequada redistribuição das gotas sobre a folhagem, podendo ocasionar perdas por inversão térmica (BOLLER *et al.*, 2007; CUNHA, 2008) e/ou por correntes convectivas. Sendo assim, o vento pode interferir negativa ou positivamente em uma aplicação. Na impossibilidade de postergar uma aplicação, sob condições de vento excessivo, a utilização de gotas de categorias grossas a extremamente grossas pode ser uma solução, entretanto, depende das exigências do produto a ser aplicado (BOLLER, *et al.*, 2007).

TABELA 7. Deriva e perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$) na cultura da soja, após a segunda aplicação aérea e terrestre, com e sem adjuvante adicionado à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Deriva ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			Perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	-	-	-	0,198	0,238	0,218 A
Aérea - 30	-	-	-	0,290	0,142	0,216 A
Terrestre - 200 C '	0,100	0,073	0,086 BC	0,356	0,330	0,343 A
Terrestre - 400 C	0,128	0,121	0,125 C	0,232	0,365	0,299 A
Terrestre - 200 IA"	0,036	0,019	0,028 A	0,330	0,192	0,261 A
Terrestre - 400 IA	0,042	0,037	0,040 AB	0,359	0,382	0,370 A
Média	0,077 a	0,062 a		0,294 a	0,275 a	
	CV= 59,21 %			CV= 53,58%		
	F _F =9,340**		F _A =0,963 ^{ns}	F _F =1,420 ^{ns}		F _A =0,192 ^{ns}
	F _{FxA} =0,120 ^{ns}			F _{FxA} =1,012 ^{ns}		

'C: ponta de jato cônico vazio; "IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

A deriva para os tratamentos aéreos não foi calculada conforme explicado no item material e métodos.

Esse é um dos motivos pelo qual as pontas de indução de ar vêm sendo muito utilizadas em pulverizações, pois resultam em menor interferência das condições climáticas, sem alteração significativa na taxa de aplicação, mas com formação de gotas de diâmetros maiores (BAUER *et al.*, 2006).

Com relação ao acréscimo do adjuvante à calda, não houve redução da deriva com essa utilização, diferentemente da primeira aplicação.

O uso de adjuvantes não deve ser uma prática generalizada. Segundo Carbonari *et al.* (2005) e Ryckaert *et al.* (2007), o uso correto dos adjuvantes pode aumentar significativamente o desempenho dos produtos aplicados. Entretanto, o aumento na eficiência da aplicação pode causar um aumento do impacto ambiental, uma vez que há presença da molécula do adjuvante no ambiente e pela sua influência no resíduo final do agrotóxico. Com o emprego dos adjuvantes, os períodos de carência devem ser re-estudados, em função do aumento dos resíduos dos produtos nos vegetais.

Avaliando-se as perdas de calda para o solo, não houve diferença estatística nem para o fator formas e volumes de aplicação, nem para o fator adjuvante.

De forma geral, nota-se que os tratamentos aéreos proporcionaram desempenho similar aos terrestres. Um dos possíveis problemas com essa técnica refere-se à deriva, mas ela pode ser minimizada com a utilização de adjuvantes na calda (como o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico) e respeitando-se as condições ambientais recomendadas para a aplicação de produtos fitossanitários (temperatura do ar menor que 30°C, umidade relativa maior que 55% e vento com velocidade abaixo de 12 km h⁻¹).

Além disso, o tratamento por via aérea não causa danos diretos à cultura, como amassamento, ou indiretos, como a compactação do solo; e, pelo fato de não entrar em contato direto com a cultura, não contribui para a disseminação de patógenos de uma área para outra, o que é comum nas aplicações por via terrestre (SCHRÖDER, 2004).

De acordo com Camargo *et al.* (2008), o risco de danos mecânicos causados às culturas pelos pulverizadores terrestres, como os autopropelidos, com consequente redução de produtividade, é um dos argumentos para a decisão de uso da aplicação por via aérea em sistemas de produção de culturas.

4 CONCLUSÕES

A adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico, de forma geral, melhorou a deposição de calda na parte superior e inferior da cultura.

A utilização de volumes de calda reduzidos, seja de 15 ou 30 L ha⁻¹ em aplicações aéreas ou 200 L ha⁻¹ nas aplicações terrestres, por proporcionarem boa deposição de calda no dossel da cultura, podem ser alternativas viáveis de redução de custos e aumento da capacidade operacional durante as aplicações de produtos fitossanitários na cultura da batata.

A aplicação aérea mostrou-se tão eficiente quanto as aplicações terrestres estudadas, no que se refere à deposição de gotas no dossel da cultura, sendo uma importante ferramenta para aplicação de fitossanitários na cultura da batata.

As pontas de indução de ar propiciaram deposição semelhante às de jato cônico vazio no dossel inferior, mas com menor risco de deriva.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, p. 17-22, 2006.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 546-551, maio/ago. 2006.
- BOLLER, W.; FORCELINI, L. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas. Parte I. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 15, p. 243-276, 2007.
- CAMARGO, T. V.; ANTUNIASSI, U. R.; VEIGA, M.; OLIVEIRA, A. P. Perdas na produtividade da soja causadas pelo tráfego de pulverizadores autopropelidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 4., 2008, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 2008. 1 CD-ROM.
- CARBONARI, C. A.; MARTINS, D.; MARCHI, S. R.; CARDOSO, L. R. Efeito de surfactantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 725-729, out./dez. 2005.
- CORRÊA, H. G.; BENEZ, S. H.; BERTON, R. S.; SÁES, L. A. Depósitos de calda obtidos com a aplicação aérea de defensivos na cultura da banana. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 121-128, 2004.
- CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, R. A. M. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 52-58, jan./fev. 2010.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação de deriva de Agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, set./out. 2008.
- CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, W. P. A. Distribuição volumétrica de aplicações aéreas de agrotóxicos utilizando adjuvantes. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 130-135, abr./jun. 2005.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 133-138, 2005.

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

FARINHA, J. V.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1738-1744, set. 2009.

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**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 728-733, set./dez. 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

GULER, H.; ZHU, H. E.; KERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-flan nozzles. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, apr. 2007.

JUSTINO, A.; MENON, L.; BORA, L.; GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G. Sentido de pulverização em culturas de soja e feijão com pulverizador de barras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 755-758, set./dez. 2006.

LIMBERGER, A. R. **Avaliação de deposição de calda de pulverização em função do tipo de ponta e do volume aplicado, na cultura do feijão**. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2006.

MADALOSSO, M. G. **Espaçamento entre linhas e pontas de pulverização no controle de *Phakopsora pachyrhizi* sidow**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e equipamentos de aplicação**. In: ABEAS-Curso de Proteção de plantas. Modulo 2. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV; 2005. 85 p. (Apostila).

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 16-23, jan. 2007.

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, n. 3, p. 333-345, july 2007.

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea**. São Paulo: Ciba Agro, 2006. 101 p.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, sept./oct. 2005.

RYCKAERT, B.; SPANOGHE, P.; HAESAERT, G.; HEREMANS, B.; ISEBAERT, S.; STEURBAUT, W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, oct. 2007.

SCHRÖDER, E. P. Aplicações em soja. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, n. 58, 2004.

SILVA, T. M. B. **Tecnologia de aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SCUDELER, F.; FUGIKAWA, L. H.; RAETANO, C. G. Influência do tipo de ponta de pulverização e do volume de aplicação na deposição do traçador cobre na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: Instituto Agrônomo de Campinas, 2004. p. 179-181. 1 CD-ROM

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1999. 17 p. (ASAE Paper, n. 99-1156).

TSAI, M. Y.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, oct. 2005.

VAN ZYL, S. A.; BRINK, J. C.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 1, p. 58-67, jan. 2010.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; ROSELL, J. R.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; MACHADO, M. S.; MACHADO, A. F. L. Deposición transversal de líquido de las boquillas de doble abanico TTJ60-11004 y TTJ60-11002 en distintas condiciones operacionales. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 397-403, abr./jun. 2009.

WOLF, R. E.; FROHBERG, D. D. **Comparison of drift for four drift-reducing flat-fan nozzle types measured in a wind tunnel and evaluated using droplet scan software**. St. Joseph: ASAE ,2002. 7 p. (Paper n. 02-1101).

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe v. 87, n. 3, p. 275-283, jan. 2004.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS DO JATO ASPERGIDO NA PULVERIZAÇÃO AÉREA E TERRESTRE COM A UTILIZAÇÃO DE ADJUVANTE

CARACTERÍSTICAS DO JATO ASPERGIDO NA PULVERIZAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NA CULTURA DA BATATA COM A UTILIZAÇÃO DE ADJUVANTE

RESUMO

A uniformidade e o tamanho das gotas produzidas durante a pulverização e a correta deposição dessas no alvo contribuem diretamente para o sucesso de uma aplicação de produtos fitossanitários. Assim, o trabalho objetivou caracterizar o jato aspergido na pulverização aérea e terrestre na cultura da batata, com a utilização de adjuvante na calda de aplicação. O experimento foi realizado em duplicata em lavouras comerciais de batata, em delineamento inteiramente casualizado, constituindo um fatorial 6 x 2, sendo seis formas de aplicação (aérea com 15 e 30 L ha⁻¹ empregando atomizador rotativo, e terrestre com 200 e 400 L ha⁻¹ empregando pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio); e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico). O espectro de gotas foi mensurado por meio da análise de imagens de papéis hidrossensíveis. Os menores tamanhos de gotas e amplitudes relativas foram produzidos pelas aplicações aéreas; em contrapartida, os maiores diâmetros de gotas e a menor percentagem de gotas menores que 100 µm foram obtidos com a utilização das pontas de jato plano duplo com indução de ar. A utilização do adjuvante não interferiu no DMV, DMN, amplitude relativa e porcentagem do volume de gotas menores que 100 µm.

PALAVRAS-CHAVE: pontas de pulverização, deposição de calda, espectro de gotas, *Solanum tuberosum* L.

SPRAY CHARACTERISTICS IN AERIAL AND GROUND APPLICATIONS IN POTATO CROP WITH THE USE OF ADJUVANT

ABSTRACT

The uniformity and droplet size produced during the spraying as well the correct deposition of these in the target, contribute directly to the success of a pesticide application. Thus, this study aimed to evaluate the spray characteristics in ground and aerial applications in potato crop, by using adjuvant in spray liquid. The experiment was conducted in duplicate, in completely randomized design, constituting a factorial model 6 x 2: six application forms (aerial using rotary atomizer at 15 and 30 L ha⁻¹ and ground at 200 and 400 L ha⁻¹ using air induction twin flat-fan and hollow-cone nozzles), and with two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcholine + propionic acid adjuvant). The droplet spectrum was measured by image analysis of water-sensitive papers. The smaller droplet sizes and relative spans were produced by aerial application; however, the larger droplet diameters and the less percentage of spray volume in droplets smaller than 100 µm diameter were obtained with the use of air induction twin flat-fan nozzle. The use of adjuvant didn't modify the VMD and NMD, the relative span and the percentage of spray volume in droplets smaller than 100 µm diameter.

KEYWORDS: spray nozzle, pesticide deposition, droplet spectrum, *Solanum tuberosum* L.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) apresenta grandes desafios no que se refere à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Para se obter uma produção com qualidade e em quantidade, é necessário o controle eficaz de pragas e doenças, que está diretamente relacionado com as técnicas de pulverização. Atualmente, o método mais empregado para a proteção das lavouras é a aplicação terrestre com pulverizadores hidráulicos, contudo, a aplicação aérea tem crescido em virtude das vantagens operacionais que apresenta, entretanto ainda carece de estudos.

Uma aplicação segura e eficiente de produtos fitossanitários depende do sinergismo entre alguns fatores envolvidos com a tecnologia de aplicação, como a utilização do equipamento de aplicação adequado, regulado e calibrado, operador de máquinas e responsável técnico pela aplicação bem instruídos e qualificados, utilização de produtos corretos e devidamente registrados, bem como condições do ambiente propícias para realizar uma aplicação.

Entretanto, na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e pouca à técnica de aplicação. Não basta apenas conhecer o produto a ser aplicado, também é fundamental conhecer a forma de aplicação. É preciso garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA, 2008; ALVARENGA, 2009).

Outro aspecto muito importante que interfere na qualidade de uma aplicação é garantir que as gotas pulverizadas tenham tamanho homogêneo e distribuição uniforme. Assim, durante as aplicações deve-se cuidar, em geral, para que não sejam produzidas gotas muito grossas nem muito finas (CUNHA *et al.*, 2007). Gotas grandes geram baixa cobertura superficial e escorrimento, mas são menos propensas ao deslocamento pelo vento. Gotas pequenas, embora permitam boa cobertura do alvo, levam a problemas com deriva e evaporação, conseqüentemente com risco de contaminação ambiental (CROSS *et al.*, 2001; TSAI *et al.*, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2007; NUYTENS *et al.*, 2009).

As pontas de jato cônico vazio, assim como os atomizadores rotativos das aeronaves agrícolas, tradicionalmente empregadas nas aplicações de fungicidas e inseticidas têm como característica comum a produção, em geral, de gotas finas, que proporcionam excelente cobertura do alvo, contudo são muito susceptíveis à deriva.

Uma das formas de se reduzir esse problema é optar pela utilização de pontas antideriva, ou pontas que produzam gotas grossas, mas que proporcionem uma boa cobertura do alvo, como as pontas de jato plano duplo com indução de ar.

Um dos problemas com relação ao uso dessas pontas de indução de ar é que diversas das ofertadas no mercado não possuem informações suficientes sobre a população e tamanho de gotas produzidas, o risco potencial de deriva, a distribuição volumétrica (VIANA *et al.*, 2010), e o seu real funcionamento (ZHU *et al.*, 2004; NUYTTENS *et al.*, 2007).

Alguns parâmetros são importantes para a determinação da população de gotas, como o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 μm . Essas características conjuntamente definem o potencial de deriva, a homogeneidade e o tamanho característico das gotas produzidas por uma determinada ponta de pulverização. Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR), maior é a faixa de tamanho das gotas pulverizadas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa que tende a zero (VIANA *et al.*, 2010).

Outro fator que também pode auxiliar na redução da deriva é a adição de adjuvantes à calda de aplicação. Eles atuam de maneira diferente entre si, e entre suas características potenciais, podem ser citadas: melhorar o molhamento, o espalhamento, a aderência, a penetração da calda de pulverização no interior da cultura e reduzir a formação de espuma (PENNER, 2000; MONTÓRIO *et al.*, 2005; MENDONÇA *et al.*, 2007; RYCKAERT *et al.*, 2007).

Outra propriedade importante dos adjuvantes é a capacidade de reduzir a tensão superficial das gotas (CUNHA; ALVES *et al.*, 2009; VAN ZYL *et al.*, 2010), além de estimular a atividade fisiológica das plantas, adequar ou acidificar o pH da calda e reduzir a evaporação das caldas (BOLLER *et al.*, 2007). Entretanto, mesmo com essas inúmeras vantagens potenciais, Lan *et al.* (2007) relatam que a adição de adjuvantes pode alterar o desempenho das aplicações e seu efeito pode ser positivo, ou até mesmo negativo, no que se refere à deposição do produto no alvo.

Caracterizar o jato produzido nas aplicações é uma das formas de se avaliar a qualidade da aplicação e permite entender melhor a eficácia biológica de um tratamento. Uma das ferramentas utilizadas para tal são os papéis hidrossensíveis, cuja leitura é realizada com o auxílio de microscópios ou digitalizadores ligados a equipamentos de processamento informatizados (BOUSE *et al.*, 1994). Apesar de apresentar algumas

limitações, como quando em contato com alta umidade relativa do ar e altos volumes de calda quando manuseados, corretamente são ferramentas importantes para avaliar a qualidade das pulverizações, principalmente em aplicações aéreas com atomizador rotativo, que não permitem avaliações com facilidade de espectro de gotas em laboratório, com equipamentos laser, por exemplo.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar o jato aspergido na pulverização aérea e terrestre na cultura da batata, em diferentes condições operacionais, com a utilização de adjuvante na calda de aplicação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Água Santa – Grupo Rocheto, situada no município de Perdizes, MG, a uma altitude de 1100 m. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Mecanização Agrícola, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia, MG.

O experimento foi realizado em duplicata, em duas áreas de pivô central (área 1 e área 2, com 80 ha cada), correspondendo a duas aplicações: a primeira no dia 18 de julho e a segunda em 19 de setembro de 2009. Ambas as áreas foram cultivadas com milho na safra de verão 2008/2009 e, na safra de inverno 2009, época da presente pesquisa, com batata.

Foram realizadas duas aplicações uma vez que se pretendia verificar se os resultados apresentariam as mesmas tendências com relação às características em estudo (tamanho de gotas), em condições de campo distintas (condições ambientais e de estágio de desenvolvimento da cultura).

O sistema de cultivo empregado foi o de plantio convencional, cultivado com batata cultivar Asterix de ciclo de 120 dias. Esta foi plantada nos dias 19 de maio de 2009 na área 1, e em 11 de junho na área 2, de forma mecanizada, com espaçamento de 0,38 m entre plantas, 0,8 m entre linhas e profundidade de plantio de 0,12 m. Os tratamentos culturais pertinente à cultura, como adubação, amontoamento e tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com a necessidade da cultura e cronograma da fazenda.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 2, avaliando-se seis formas de aplicação e

duas composições de calda. As formas de aplicação foram compostas pela combinação de tipo de pulverização (aérea e terrestre) e volume de aplicação, conforme descrito na TABELA 1. Todas as pontas utilizadas na aplicação terrestre são de funcionamento hidráulico, da empresa Magno Jet, e possuem orifício de saída do jato constituído em cerâmica (FIGURA 1). Já na aplicação aérea, utilizaram-se atomizadores rotativos de tela como sistema de quebra de gota, variando-se a posição da unidade de restrição variável (URV) do atomizador para obtenção dos volumes avaliados.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Formas de Aplicação		Tipo de Calda
	Tipo de Pulverização	Volume de Calda (L ha ⁻¹)	
1	Aérea - Atomizador Rotativo Micronair AU 5000	30	Com adjuvante
2			Sem adjuvante
3	Aérea - Atomizador Rotativo Micronair AU 5000	15	Com adjuvante
4			Sem adjuvante
5	Terrestre - Ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 02)	200	Com adjuvante
6			Sem adjuvante
7	Terrestre - Ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 04)	400	Com adjuvante
8			Sem adjuvante
9	Terrestre - Ponta de jato cônico vazio (MAG - 2)	200	Com adjuvante
10			Sem adjuvante
11	Terrestre - Ponta de jato cônico vazio (MAG - 4)	400	Com adjuvante
12			Sem adjuvante

A calda de aplicação foi composta por água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico (712,88 g L⁻¹), na dose recomendada de 0,50% v/v (0,5 L 100 L⁻¹). De acordo com o fabricante, trata-se um adjuvante não-iônico, redutor de tensão superficial e antideriva.

Nas aplicações terrestres, utilizou-se um pulverizador costal de pressão constante (CO₂), dotado de barra com quatro bicos espaçados de 0,5 m entre si e 0,5 m em relação à cultura, a uma velocidade de aplicação média de 4 km h⁻¹. As parcelas experimentais constaram de 51,2 m², sendo 6,4 m de largura e 8 m de comprimento, e foi mantida sempre uma distância longitudinal de 6 m entre as parcelas. A área útil da parcela foi

equivalente a 19,2 m², para isto descartaram-se duas linhas de cada lado da parcela e 1 metro de cada extremidade.

Já nas aplicações com o avião, utilizou-se uma aeronave agrícola Cessna AG TRUCK - 300, dotada de oito atomizadores rotativos de tela Micronair AU 5000. A altura de voo foi de 3 m em relação à cultura, a velocidade de aplicação de 110 milhas h⁻¹ (177 km h⁻¹) e o ângulo das pás do atomizador de 45°. O tamanho das parcelas foi de 19.200 m², correspondente a 300 m de comprimento e 64 m de largura, equivalente a quatro passadas de 16 m do avião. Após a aplicação, foi estabelecida uma distância lateral de 50 m entre cada parcela. A área útil foi correspondente à 1920 m², no qual descartaram-se 20 m de cada lado e 110 m de cada extremidade.

As pressões de trabalho durante as aplicações se mantiveram constantes, sendo que, na aplicação terrestre para as pontas de jato plano duplo e cone vazio, as pressões foram de 207 e 483 kPa, respectivamente. Na aplicação aérea, a pressão utilizada foi de 186 kPa.

Todas as aplicações foram realizadas perpendicularmente à direção do vento e as condições ambientais dos dois ensaios foram distintas. Na primeira aplicação, as condições ambientais médias foram: umidade relativa do ar de 64%, temperatura do ar de 24°C e velocidade do vento de 8,6 km h⁻¹. Na segunda aplicação, a umidade relativa do ar média foi de 62,2%, a temperatura do ar de 26,5°C; e a velocidade do vento de 10,5 km h⁻¹. As condições ambientais foram monitoradas por um termo-higro-anemômetro digital (Kestrel[®] 4000 Pocket Weather Tracker).

As aplicações visaram a simular o controle de doenças fúngicas. Na primeira aplicação (área 1), a cultura da batata encontrava-se no estágio III – no máximo desenvolvimento vegetativo, com aproximadamente nove semanas (60 dias) após o plantio. Na segunda (área 2), a cultura estava no estágio IV – maturação dos frutos e início do processo de senescência das folhas, com aproximadamente quatorze semanas (100 dias) após o plantio, de acordo com escala de desenvolvimento vegetativo proposta por Filgueira (2008).

Foi avaliado o espectro das gotas pulverizadas por meio da análise de papéis hidrossensíveis. Antes da pulverização, foram colocados aleatoriamente quatro papéis (76 x 26 mm) dentro da área útil de cada parcela, todos suspensos em uma haste metálica imediatamente acima das plantas, buscando mantê-los na posição horizontal e direcionados para cima e sem interferência das folhas (FIGURA 1).

Posteriormente, foi realizada a quantificação e a caracterização dos impactos em cada papel. Em laboratório, estes foram digitalizados com resolução de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits, e analisados por meio do programa computacional CIR® 1.5 - Conteo y Tipificación de Impactos de Pulverización (Gustavo Casal, Castelar, Argentina), específico para a análise de espectro de gotas.

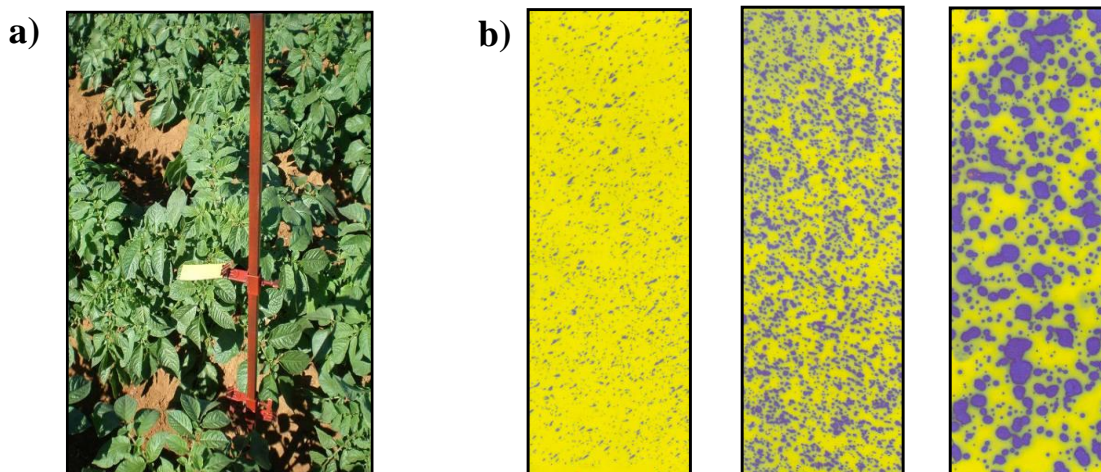


FIGURA 1. a) Papel sensível preso à haste. b) Papéis sensíveis após a aplicação: gotas produzidas pelos atomizadores rotativos, pelas pontas de cone vazio (MAG - 2) e pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002), respectivamente. Perdizes – MG, 2009.

O programa emite uma planilha de dados, dos quais foram estudados os parâmetros: $Dv_{0,5}$ – diâmetro de gota, tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica (DMV), DMN – diâmetro da mediana numérica, AR – amplitude relativa e $Dv < 100 \mu\text{m}$ – percentagem do volume aplicado cujas gotas possuam diâmetro inferior a $100 \mu\text{m}$.

A amplitude relativa foi determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$AR = \frac{D_{10} - D_{90}}{D_{50}}$$

Na qual:

AR: amplitude relativa;

$Dv_{0,1}$: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

$Dv_{0,5}$: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

$Dv_{0,9}$: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor

Os dados de espectro de gotas foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias de Levene utilizando o programa SPSS 16. Em seguida, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e, constatada diferença significativa, as médias das características em estudo foram comparadas pelo teste Tukey, a 0,05 de probabilidade. Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Primeira Aplicação – Área 1

Na TABELA 2, encontram-se os valores de $Dv_{0,5}$ e DMN. Para o $Dv_{0,5}$, a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante não foi significativa, o que indica a independência dos mesmos, enquanto que, para a variável DMN, houve interação significativa entre os fatores, existindo assim uma dependência entre eles.

Os tratamentos de aplicação aérea com 15 e 30 L ha⁻¹, empregando atomizador rotativo de tela, produziram os menores tamanhos de gota ($Dv_{0,5}$ de 101 e 121 µm, respectivamente), assim como os menores DMN, variando entre 72 e 74 µm. Os maiores valores de $Dv_{0,5}$ (438 e 483 µm) e DMN (127 e 103 µm) foram produzidos pelos tratamentos de aplicação terrestre com 200 e 400 L ha⁻¹, empregando pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D).

A adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico à calda não alterou o diâmetro volumétrico das gotas, assim como também não interferiu nos valores de diâmetro da mediana numérica, exceto para o tratamento de aplicação terrestre com 200 L ha⁻¹ e ponta de jato plano duplo com indução de ar, para o qual a utilização do adjuvante aumentou o valor do DMN.

Ferreira *et al.* (2009) também não encontraram diferença no DMV das gotas produzidas pelas pontas TF-VS-2 (jato plano de grande ângulo) e AI 11003 (jato plano com indução de ar) com a adição de diferentes adjuvantes à calda, no entanto, para a

ponta TTI 11003 (jato plano defletor com indução de ar), com a adição dos adjuvantes LI-700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico), Aquafol (fertilizante foliar) e Agridex (óleo mineral), foram encontrados valores menores de DMV.

TABELA 2. Diâmetro da mediana volumétrica e numérica das gotas pulverizadas após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Dv _{0,5} (µm)			DMN (µm)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	101	101	101 A	73 Aa	72 Aa	72
Aérea - 30	132	110	121 A	75 ABa	74 Aa	74
Terrestre - 200 C'	155	156	155 AB	101 ABCa	99 ABa	100
Terrestre - 400 C	179	180	179 B	91 ABCa	94 ABa	93
Terrestre - 200 IA"	436	440	438 C	107 Ca	147 Cb	127
Terrestre - 400 IA	480	487	483 C	102 BCa	104 Ba	103
Média	247 a	246 a		91	98	
	CV= 15,34%			CV= 14,24%		
	F _F =159,38**		F _A =0,02 ^{ns}	F _F =18,12**		F _A =3,07 ^{ns}
	F _{FxA} =0,16 ^{ns}			F _{FxA} =2,87*		

'C: ponta de jato cônico vazio; "IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Miller e Butler-Ellis (2000), estudando o efeito das formulações nas características da pulverização, argumentam que as pontas com indução de ar são mais sensíveis às mudanças nas propriedades físicas da calda e que seu comportamento nem sempre segue os das pontas hidráulicas convencionais.

Um complicador, ao se trabalhar com pontas de indução de ar, é que alguns fabricantes não disponibilizam seu espectro de gotas. Segundo Viana *et al.* (2007), essas informações são indispensáveis para a escolha correta da ponta a fim de se obter maior eficiência na cobertura do alvo e menor risco ambiental.

Na TABELA 3, mostram-se as médias referentes à amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100

µm. Para ambas as variáveis, não houve interação significativa entre os fatores estudados, indicando independência entre os mesmos.

TABELA 3. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Amplitude Relativa (AR)			Gotas < 100 µm (%)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,835	0,800	0,817 A	49,03	47,95	48,49 D
Aérea - 30	1,130	1,090	1,110 B	24,19	35,73	29,96 C
Terrestre - 200 C'	0,935	1,022	0,979 AB	11,49	12,22	11,86 B
Terrestre - 400 C	1,132	1,085	1,109 B	12,80	12,07	12,44 B
Terrestre - 200 IA''	1,257	1,020	1,139 B	1,63	0,73	1,18 A
Terrestre - 400 IA	1,225	1,080	1,152 B	1,72	1,56	1,64 A
Média	1,086 a	1,016 a		16,81 a	18,38 a	
	CV= 16,25%			CV= 30,29%		
	F _F =4,64**		F _A =1,99 ^{ns}	F _F =95,22**		F _A =1,04 ^{ns}
	F _{FxA} =0,84 ^{ns}			F _{FxA} =1,71 ^{ns}		

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

A amplitude relativa expressa a uniformidade do conjunto de gotas ou o espectro de variação do tamanho das gotas (OZEKI, 2006; SILVA, 2009). Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR), maior é a faixa de tamanho das gotas pulverizadas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa que tende a zero (VIANA *et al.*, 2010).

A menor amplitude relativa foi encontrada no tratamento aéreo com volume de calda de 15 L ha⁻¹ (0,817) e no tratamento terrestre com 200 L ha⁻¹ de calda (0,979) com pontas de jato cônico vazio (MAG), indicando maior homogeneidade na formação de gotas quando comparado ao sistema venturi das pontas hidráulicas de jato plano duplo com indução de ar.

Silva (2009), avaliando uniformidade do conjunto de gotas produzidas por sistemas aéreos (pontas hidráulicas, atomizadores rotativos de disco e sistema

eletrostático), também verificou os menores valores de amplitude relativa com o uso dos atomizadores (15 L ha⁻¹) e sistema eletrostático (5 L ha⁻¹) no dossel da cultura do arroz. Segundo Schröder (2010), a utilização de atomizadores rotativos de alta rotação na aviação agrícola (mais de 5000 giros por minuto) gera espectro de gotas mais uniforme, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Os tratamentos terrestres com pontas AD-IA/D proporcionaram a menor percentagem de gotas pulverizadas menores que 100 µm (1,18% e 1,64%), e os tratamentos aéreos os maiores valores (29,96% e 48,49%).

Segundo Cunha *et al.* (2003), a interpretação dos dados de percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm permite a estimativa do potencial de deriva da aplicação. Quanto menor essa percentagem, menor o risco de deriva. Não existe valor-padrão indicativo de risco de deriva ou de aplicação segura, entretanto, para os autores, valores abaixo de 15% de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm são mais adequados para aplicações seguras ambientalmente, com menor risco de deriva.

Assim, aplicações aéreas com o espectro de gotas encontrado devem ser realizadas preferencialmente em condições ambientais favoráveis à aplicação de fitossanitário, a fim de reduzir ao máximo as perdas por deriva.

Embora seja possível reduzir o risco potencial de deriva com a utilização de pontas com indução de ar, há a preocupação de que, devido à formação de gotas grossas e muito grossas, haja aumento do escorrimento de calda e, conseqüentemente, perda da eficácia da pulverização (LESNIK *et al.*, 2005). Entretanto, para Heinkel *et al.* (2000) e Shaw *et al.* (2000), a utilização de uma ponta com indução de ar pode fornecer um desempenho semelhante ao de uma pulverização convencional (com pontas de jato plano simples), desde que o operador receba informações sobre como fazer a seleção inicial dessa ponta e como melhorar seu desempenho.

Quanto à utilização de adjuvante, não houve diferença significativa entre sua presença ou não na calda de pulverização para os valores de amplitude relativa e porcentagem de gotas menores que 100 µm.

Ferreira *et al.* (2009) também não encontraram alteração nos valores de amplitude relativa para as pontas TTI 11003, TF-VS-2 e AI 11003 com adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico à calda de pulverização.

3.2 Segunda Aplicação – Área 2

Encontram-se na TABELA 4 os resultados de $Dv_{0,5}$ e DMN referentes à segunda aplicação. Para ambos, a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante não foi significativa. Para as duas variáveis em questão, os menores tamanhos de gotas foram obtidos pelos atomizadores rotativos nos volumes de 15 e 30 L ha⁻¹ de calda, em contrapartida, os maiores valores de tamanho de gotas foram produzidos pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D), nos volumes de 200 e 400 L ha⁻¹ de calda.

TABELA 4. Diâmetro da mediana volumétrica e numérica das gotas pulverizadas após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Dv _{0,5} (µm)			DMN (µm)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	105	93	99 A	75	66	71 A
Aérea - 30	123	117	120 AB	81	73	77 A
Terrestre - 200 C'	158	175	166 BC	103	102	103 B
Terrestre - 400 C	175	203	189 C	96	102	99 B
Terrestre - 200 IA"	429	411	420 D	119	122	120 C
Terrestre - 400 IA	424	416	420 D	101	92	97 B
Média	236 a	236 a		96 a	93 a	
	CV= 14,20%			CV= 10,15%		
	F _F =152,91** F _A =0,00 ^{ns}			F _F =28,39** F _A =1,09 ^{ns}		
	F _{FxA} =0,59 ^{ns}			F _{FxA} =0,98 ^{ns}		

'C: ponta de jato cônico vazio; "IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Nuyttens *et al.* (2007, 2009), avaliando o tamanho de gotas de pontas de pulverização hidráulica, de mesma vazão nominal, de jato plano simples, jato plano de baixa-deriva e jato plano com indução de ar (Hardi F-110, LD-110 e Injet), também encontraram nas pontas de indução de ar os maiores tamanhos de gotas e a menor propensão das mesmas à deriva.

Sabe-se que os adjuvantes com propriedades surfactantes, como o fosfatidilcolina + ácido propiônico, têm a capacidade de reduzir a tensão superficial de soluções aquosas aplicadas sobre uma cultura, e melhorar a aderência das gotas nas folhas (BARGEL *et al.*, 2006). Entretanto, isso pode levar também à diminuição do tamanho das gotas, contudo a magnitude desse processo não é muito grande e varia de acordo com a ponta empregada (BUTLER-ELLIS *et al.*, 2001). Isso pode explicar a não alteração dos diâmetros da mediana volumétrica e numérica com a adição do adjuvante à calda de pulverização.

A amplitude relativa e a percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm estão detalhadas na TABELA 5. Nota-se que, para ambas as variáveis, não houve interação significativa entre os fatores estudados, comprovando-se a não existência de dependência entre os dois fatores. A menor amplitude relativa, no valor de 0,724, foi encontrada no tratamento de aplicação aérea com 15 L ha⁻¹, diferindo de todos os demais tratamentos. Esse resultado indica boa uniformidade de produção de gotas.

TABELA 5. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Amplitude Relativa (AR)			Gotas < 100 µm (%)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,762	0,685	0,724 A	43,77	62,39	53,08 C
Aérea - 30	1,047	1,090	1,069 B	28,70	35,88	32,29 B
Terrestre - 200 C'	1,090	1,052	1,071 B	12,37	10,50	11,44 A
Terrestre - 400 C	1,125	1,110	1,117 B	10,94	7,96	9,45 A
Terrestre - 200 IA''	1,255	1,320	1,287 B	1,55	1,68	1,61 A
Terrestre - 400 IA	1,145	1,185	1,165 B	2,23	3,28	2,76 A
Média	1,071 a	1,074 a		16,59 a	20,28 a	
	CV= 16,87 %			CV= 42,34 %		
	F _F =8,73**		F _A =0,01 ^{ns}	F _F =53,84**		F _A =2,68 ^{ns}
	F _{FxA} =0,19 ^{ns}			F _{FxA} =2,17 ^{ns}		

'C: ponta de jato cônico vazio; ''IA: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05; ^{ns} não significativo.

Cunha *et al.* (2007) relatam que, para as pontas que operam com pressão hidráulica, há produção de gotas bastante desuniformes, dificultando a adequada cobertura do alvo. Com isso, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem a produção de gotas mais uniformes para diminuir a presença de gotas muito pequenas ou de gotas excessivamente grandes. A adoção de equipamentos de pulverização que utilizam como sistema de quebra de gotas os atomizadores rotativos é uma opção.

O tratamento empregando aplicação aérea com 15 L ha^{-1} apresentou a maior percentagem de gotas aspergidas menores que $100 \mu\text{m}$, equivalente a 53,08%, diferindo dos outros tratamentos. Com esse tipo de espectro de gotas, existe risco elevado de deriva. Vale ressaltar que, de acordo com a necessidade, pode-se aumentar o tamanho das gotas geradas pelo atomizador rotativo simplesmente alterando a angulação das pás. Também existem, no mercado, atomizadores rotativos com dispositivos específicos para aumento de tamanho de gota.

Novamente, a utilização do adjuvante não interferiu nos valores de amplitude relativa e na percentagem de gotas menores que $100 \mu\text{m}$ de forma significativa. A maioria dos adjuvantes com função espalhante tem em sua composição propriedades redutoras de tensão superficial, que alteram o tamanho das gotas, contudo a magnitude desse processo não é muito grande e varia de acordo com o sistema de pulverização empregado.

A adição de adjuvantes pode alterar o desempenho das aplicações, no entanto, é muito importante conhecer a procedência desses produtos e as implicações de seu uso antes de adquirí-los e utilizá-los (LAN *et al.*, 2007).

4 CONCLUSÕES

Os dois ensaios realizados, em distintas condições, apresentaram tendências semelhantes quanto às características das gotas geradas.

As pontas de jato plano duplo com indução de ar proporcionaram os maiores tamanhos de gotas, enquanto os atomizadores rotativos, nas condições ensaiadas, os menores.

A aplicação aérea, nos dois volumes de calda (15 e 30 L ha⁻¹), proporcionou a menor amplitude relativa do espectro de gotas, entretanto resultaram na maior percentagem de gotas sujeitas a deriva (menores que 100 µm).

A adição do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico à calda não alterou o diâmetro médio volumétrico das gotas, o diâmetro da mediana numérica, a amplitude relativa e a percentagem do volume composto por gotas menores que 100 µm, medidos com papel hidrossensível.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. B. de. **Avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia-MG**. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Fitotecnia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- BARGEL, H.; KOCH, K.; CERMAN, Z.; NEINHUIS, C. Structure–function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes – a smart material? **Functional Plant Biology**, Evans Review, v. 33, n. 10, p. 893-910, oct. 2006.
- BOLLER, W.; FORCELINI, L. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas Parte I. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 15, p. 243-276, 2007.
- BOUSE, L. F.; CARLTON, J. B.; KIRK, I. W.; HIRSCH JÚNIOR, T. J. Nozzle selection for optimizing deposition and minimizing spray drift for the Air tractor. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 6, p. 1725-1731, nov./dec. 1994.
- BUTLER-ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. **Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, Amsterdam, v. 180, n. 3, p. 267-276, may 2001.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, London, v. 20, n. 4, p. 333-343, may 2001.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34 n. 9, p. 655-659, set. 2009.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação de deriva de Agrotóxicos em diferentes condições de pulverização **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, set./out. 2008.
- 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**, Jaboticabal, v. 27, n.esp., p.10-15, jan. 2007.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-332, maio/ago. 2003.

FERREIRA, M. C.; FERNANDES, A. P.; ROMÁN, R. A. A.; Potencial de deriva das gotas grossas produzidas por pontas de pulverização de energia hidráulica, com caldas de diferentes adjuvantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. 1 CD-ROM.

FIGUEIREDO, J. L. A.; TEIXEIRA, M. M.; PICANÇO, M. C.; PINTO, F. A. C.; PRAT, M. H. Avaliação da uniformidade de aplicação e do espectro de gotas de bicos hidráulicos. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Habana, v.16, n. 3, p. 47-52, jul./sept. 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

HEINKEL, R.; FRIED, A.; LANGE, E. The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v. 57, n. 1, p. 301-307, 2000.

LAN, Y.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K.; MARTINS, D. E.; LOPEZ, L. E. **Drift reduction with drift control adjuvants**. St. Joseph: ASABE - Annual International Meeting, 2007. 14 p. (Paper n. 07-1060).

LESNIK, M.; PINTAR, C.; LOBNIK, A.; KOLAR, M. Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. **Crop Protection**, London, v. 24, n. 2, p. 93-100, feb. 2005.

MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.esp., p. 16-23, jan. 2007.

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

MONTÓRIO, G. A.; VELINI, E. D.; MACIEL, C. D. G.; MONTÓRIO, T. Eficiência dos surfactantes de uso agrícola na redução da tensão superficial. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo, v. 4, p. 8-22, 2005.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, sept./oct. 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, n. 3, p. 333-345, July 2007.

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea**. São Paulo: Ciba Agro, 2006. 101 p.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed Technology**, Washington, v. 14, n. 4, p. 785-791, oct./dec. 2000.

RYCKAERT, B.; SPANOGHE, P.; HAESAERT, G.; HEREMANS, B.; ISEBAERT, S.; STEURBAUT, W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, oct. 2007.

SILVA, T. M. B. **Tecnologia de aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SHAW, D. R.; MORRIS, W.; WEBSTER, E. P.; SMITH, D. B. Effects of spray volume and droplet speed on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. **Weed Technology**, Washington, v. 14, n. 2, p. 321-326, apr./june 2000.

SCHRÖDER E. P. **Pulverização: em alta rotação**. Disponível em: <<http://www.terraaviacao.com.br/Inseticidas.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

TSAI, M.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, oct. 2005.

VAN ZYL, S. A.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 1, p. 58-67, jan. 2010.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, abr./jun. 2010.

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**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 211-218, jan./mar. 2007.

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 87, n. 3, p. 275-283, jan. 2004.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico na calda, em geral, proporcionou melhor deposição de gotas na cultura da batata.

A ponta de jato plano duplo com indução de ar, no volume de 200 L ha⁻¹, mostrou-se uma alternativa para realizar aplicações na cultura da batata, principalmente em condições climáticas desfavoráveis.

A aplicação aérea mostrou-se tão eficiente quanto a aplicação terrestre com relação à deposição de calda no dossel da cultura, sendo, portanto uma alternativa viável para realizar aplicação de produtos fitossanitários.

Faz-se necessário continuar os estudos de deposição de calda na cultura da batata, buscando-se também outros métodos de análises de deposição, uma vez que o método da espectrofotometria empregado apresenta limitações técnicas.