

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE UM PULVERIZADOR DE VOLUME ULTRA
BAIXO E DE ADJUVANTES EM CALDAS
FITOSSANITÁRIAS NA CULTURA DOS CITROS**

**Sergio Tadeu Decaro Junior
Engenheiro Agrônomo**

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE UM PULVERIZADOR DE VOLUME ULTRA
BAIXO E DE ADJUVANTES EM CALDAS
FITOSSANITÁRIAS NA CULTURA DOS CITROS**

Sergio Tadeu Decaro Junior

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Produção Vegetal)**

2015

Decaro Junior, Sergio Tadeu
D291a Avaliação de um pulverizador de volume ultra baixo e de adjuvantes em caldas fitossanitárias na cultura dos citros. – – Jaboticabal, 2015
xii, 118 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientador: Marcelo da Costa Ferreira

Banca examinadora: Daniel Junior de Andrade, Jairo Osvaldo Cazetta, Tomás Kanashiro Matuo, Paulo Roberto Pala Martinelli

Bibliografia

1. Depósito de calda. 2. Cobertura por gotas. 3. Pulverização. 4. Uniformidade. 5. Óleo mineral. 6. Tecnologia de aplicação I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.934.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “AVALIAÇÃO DE UM PULVERIZADOR DE VOLUME ULTRA BAIXO E DE ADJUVANTES EM CALDAS FITOSSANITÁRIAS NA CULTURA DOS CITROS”

AUTOR: SERGIO TADEU DECARO JUNIOR

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA

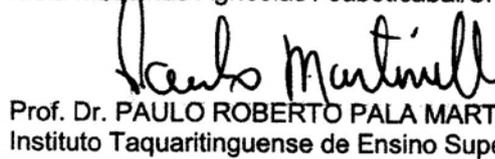
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JAIRO OSVALDO CAZETTA
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. TOMAS KANASHIRO MATUO
Idéia Máquinas Agrícolas / Jaboticabal/SP


Prof. Dr. PAULO ROBERTO PALA MARTINELLI
Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior / Taquaritinga/SP

Data da realização: 10 de agosto de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Sergio Tadeu Decaro Junior – Filho de Sergio Tadeu Decaro e Maria Terezinha Stracini Decaro, nasceu aos 6 de outubro de 1988 na cidade de Taquaritinga – SP. Engenheiro Agrônomo pela UNESP - Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal, em 2010. Durante a graduação, participou de trabalhos envolvendo Adubação, Nutrição de Plantas e Entomologia Agrícola, com ênfase na cultura do café. Foi um dos membros fundadores do Grupo Integração Empresa Universidade (GIEU) de 2008 a 2010. Em 2011 ingressou no curso de mestrado em Produção Vegetal, pela mesma instituição, desenvolvendo sua dissertação e trabalhos na área de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, no Departamento de Fitossanidade. Seus trabalhos foram voltados para pulverizações na cultura do café visando reduções no volume de aplicação, titulando-se Mestre em Agronomia no ano de 2013. Neste mesmo ano, ingressou no curso de doutorado em Produção Vegetal, também na FCAV, mantendo a mesma linha de pesquisa sobre Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários, porém, na cultura dos citros, onde aprofundou seus conhecimentos e continuou com trabalhos relacionados ao manejo de volumes de aplicação e utilização de adjuvantes agrícolas.

“Quanto mais nos elevamos, menores parecemos aos olhos daqueles que não sabem voar.”

(Friedrich Nietzsche)

Pai e Mãe

Agradecimento e amor são palavras que se misturam à tentativa de eternizar uma singela mensagem às pessoas mais importantes em minha vida.

Da criação à formação, foram meus professores de disciplinas como respeito, moralidade, honestidade, dedicação e amor.

À melhor Mãe do mundo, Maria Terezinha Stracini Decaro, meu muito obrigado por cada segundo de sua doce existência, por seu infinito amor e por guiar-me cuidadosamente pelos caminhos passados presentes e futuros.

Ao melhor Pai do mundo, Sergio Tadeu Decaro, meu muito obrigado por estar presente em todos os momentos de minha vida, sustentar meus sonhos e mostrar que o caminho do sucesso é feito de dedicação, honestidade e amor.

Dedico

À Beatriz Silveira Braga, por ser a pessoa mais linda do mundo e estar sempre junto de mim, apoiando-me, enchendo meu coração de amor e minha alma de motivação.

Obrigado por tornar meu mundo melhor, pois ao seu lado, posso conquistar todos os horizontes e ser eternamente feliz.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu irmão Ricardo Augusto Decaro, que seguiu os passos da Engenharia Agrônômica e me auxiliou sobremaneira durante toda a minha pós-graduação. Sua determinação é a alma do sucesso intrínseco a você. Obrigado por ser companheiro em todos os momentos de minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, que, com sua inteligência, brilhantismo e vocação, soube muito mais do que simplesmente me orientar, tornando-se, logo, um grande amigo, por quem tenho inestimável consideração e respeito.

Ao meu estimado amigo Gunther Fouquet, da empresa PulsFog, que apoiou financeiramente o desenvolvimento deste trabalho e participou ativamente das etapas de instalação e execução dos experimentos a campo, enriquecendo o projeto com suas brilhantes ideias.

Ao meu estimado amigo Gilson Jose Leite que me co-orientou durante toda a minha pós-graduação, auxiliando muito mais do que só com trabalho, mas com sua alegria e com seu espírito perseverante e aguerrido.

Aos membros Doutores que gentilmente aceitaram participar da presente banca examinadora.

Aos Professores Doutores Daniel Junior de Andrade, Nilza Maria Martinelli e Rita de Cássia Panizzi, por terem participado de minha banca de qualificação de doutoramento.

Ao Engenheiro Agrônomo Edmilson Davoglio por ceder área de citros por dois anos, para a realização dos trabalhos com pulverização na região de Borborema – SP.

Aos meus amigos do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, Henrique Borges Neves Campos, Mariah Valente Baggio, Olinto Lasmar, Dieimisson Paulo Almeida, Jeruska Azevedo Moreira Brenha, Paulo Simino, Natali Calazança dos Santos e Javier Pita por terem me auxiliado nas etapas de realização dos trabalhos desta tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Aspectos gerais da pulverização em citros.....	4
2.2. Redução no volume de aplicação.....	7
3. REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO 2 – CONFIGURAÇÃO DE PULVERIZADORES PARA APLICAÇÃO DE VOLUMES DE CALDA REDUZIDOS EM POMARES DE CITROS.....	18
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.1. Delineamento experimental.....	23
2.2. Avaliação do depósito de calda e fungicida nas folhas de citros.....	25
2.3. Avaliação da porcentagem de cobertura por gotas nas folhas de citros.....	27
2.4. Análise dos dados.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.1. Avaliação da porcentagem de cobertura por gotas em papéis hidrossensíveis.....	29
3.2. Avaliação do depósito de calda fitossanitária em plantas de citros.....	33
3.3. Avaliação do depósito de fungicida em plantas de citros.....	35
4. CONCLUSÃO.....	40
5. REFERÊNCIAS.....	41

CAPÍTULO 3 – TAMANHO DE GOTAS PRODUZIDAS POR UM BOCAL EFERVESCENTE USANDO DIFERENTES ADJUVANTES NA CALDA E COMBINAÇÕES DE PRESSÃO E VAZÃO.....	44
RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.1. Espectro de gotas em função do uso de óleo mineral em diferentes concentrações na calda.....	52
3.2. Espectro de gotas em função do uso dos adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano na calda.....	58
3.3. Avaliação do diâmetro de gotas e vazão pulverizadas pelo bocal efervescente.....	63
4. CONCLUSÕES.....	65
5. REFERÊNCIAS.....	66
CAPÍTULO 4 – SIMILARIDADE ENTRE CALDAS FITOSSANITÁRIAS E RELAÇÕES EXISTENTES ENTRE DIFERENTES VARIÁVEIS DA PULVERIZAÇÃO EM CITROS.....	70
RESUMO.....	70
ABSTRACT.....	71
1. INTRODUÇÃO.....	72
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
2.1. Análise exploratória multivariada.....	79
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
3.1. Agrupamento das diferentes caldas fitossanitárias.....	81
3.2. Relação entre as variáveis das caldas fitossanitárias.....	84
4. CONCLUSÕES.....	91
5. REFERÊNCIAS.....	92

CAPÍTULO 5. EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE GOTAS DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS COM ADITIVOS MINERAIS APLICADOS SOBRE FOLHAS DE LARANJEIRA.....	94
RESUMO.....	94
ABSTRACT.....	95
1. INTRODUÇÃO.....	96
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	98
2.1. Análise da tensão superficial, ângulo de contato e área molhada por gotas.....	99
2.2. Evaporação de gotas.....	100
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	102
3.1. Tensão superficial, ângulo de contato e área molhada por gotas.....	102
3.2. Porcentagem de evaporação.....	112
4. CONCLUSÕES.....	115
5. REFERÊNCIAS.....	116
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118

AValiação DE UM PULVERIZADOR DE VOLUME ULTRA BAIXO E DE ADJUVANTES EM CALDAS FITOSSANITÁRIAS NA CULTURA DOS CITROS

RESUMO – As pulverizações na cultura dos citros são realizadas por meio de excesso no volume de calda aplicado, o que implica em alto custo operacional e perda na competitividade do setor. O presente trabalho avaliou reduções no volume de aplicação em citros, usando-se um pulverizador convencional e um pulverizador de volume ultra baixo, por meio de direcionamento de jatos e troca de bicos. Os bocais denominados efervescentes do pulverizador de volume ultra baixo foram avaliados quanto ao espectro de gotas pulverizadas mediante a utilização de caldas contendo adjuvantes em diferentes concentrações, comparado ao padrão água. Todas as caldas utilizadas na aplicação a campo e na avaliação do bocal, juntamente com caldas fungicidas contendo variações na concentração de óleo mineral e sulfato de manganês, foram avaliadas segundo diferentes variáveis. Foram elas a tensão superficial, viscosidade, densidade, pH, condutividade, estabilidade, diâmetro das gotas pulverizadas, ângulo de contato de gotas e retenção de calda em folhas de citros, visando a identificar similaridades entre caldas e correlações entre variáveis. De acordo com os resultados, o volume de 630 L ha⁻¹, no pulverizador convencional, e o volume de 160 L ha⁻¹, com o pulverizador de volume ultra baixo, podem ser adotados para o controle de patógenos, em plantas de citros, com igual cobertura e maior volume de fungicida depositado nas folhas em relação ao volume de 1.200 L ha⁻¹ convencionalmente praticado. O bocal efervescente produz gotas muito finas, de modo que o uso do adjuvante óleo mineral em concentração maior que 11%, bem como o adjuvante heptametiltrisiloxano, na dose recomendada pela bula, reduzem o risco de deriva das gotas, enquanto o adjuvante fosfatidilcoline favorece a produção de gotas mais finas e uniformes. A escolha de determinado adjuvante deve pressupor efeito em várias variáveis na calda, optando-se por produtos que tenham efeito mais pronunciado na variável de interesse agrônômico. Quanto maior foi a viscosidade da calda, maior foi o diâmetro de gotas pulverizadas. O sulfato de manganês não modificou a tensão superficial das caldas fungicidas, porém influenciou no ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície foliar e de vidro. Com a redução na tensão superficial e aumento no espalhamento de gotas, a cobertura nas folhas de laranjeira por gotas é melhorada durante a pulverização. Isso incrementa sua eficiência e possibilita a adoção de menores volumes de aplicação em vez dos altos volumes comumente aplicados na cultura, mantendo a qualidade no tratamento.

Palavras-chave: depósito de calda, cobertura por gotas, diâmetro, uniformidade, óleo mineral, Tecnologia de Aplicação

EVALUATION OF AN ULTRA LOW VOLUME SPRAYER AND ADJUVANTS IN SPRAYING LIQUIDS ON CITRUS ORCHARDS

ABSTRACT – Sprays in citrus orchards are performed by means of excess of applied volume, which implies in high operational cost and decrease of the competitiveness in this sector. The present work evaluated reductions on the application volume in citrus, employing a conventional sprayer and an ultra low volume sprayer, by means of jets setting and nozzles change. The nozzles named effervescent of the ultra low volume sprayer were assessed on the droplet spectra produced with spraying liquids containing adjuvants in different concentrations, comparing to the pattern water. All the spraying liquids utilized at the field application and at the nozzles evaluation, along with fungicide liquids with mineral oil and manganese sulphate concentrations, were assessed according to different variables. They were surface tension, viscosity, density, pH, conductivity, stability, sprayed droplets diameter, contact angle of droplets and liquid retention on citrus leaves, aiming to identify similarity among the spraying liquids and correlations among variables. From the results, the volume 630 L ha^{-1} , with the conventional sprayer, and the volume 160 L ha^{-1} , with the ultra low volume sprayer, may be adopted for the control of pathogens, on citrus plants, with similar coverage and higher fungicide volume deposited on the leaves in comparison with the volume of $1,200 \text{ L ha}^{-1}$ conventionally practiced. The effervescent nozzle produces very fine droplets, in such a way the use of mineral oil in concentrations higher than 11%, as well as the adjuvant heptamethyltrisiloxane, on recommended dosage, reduce the risk of droplets from drift, whilst the adjuvant phosphatidylcholine favors the production of more fine and uniform droplets. The choice of determined adjuvant must presuppose effect in several variables of the spraying liquid, opting for products with a more pronounced effect on the variable of agronomic interest. The higher was the viscosity, the higher was the diameter of sprayed droplets. The manganese sulphate did not modified the surface tension of spraying liquids, but modified the contact angle of applied droplets on citrus and glass surface. With the reduction of surface tension and increase of droplets spreading, the coverage of citrus leaves by droplets is improved during the spray. This increments its efficiency and allows the adoption of lower application volumes rather than the high ones commonly used in the orchards, maintaining the quality of the treatment.

Key words: Liquid deposit, coverage by droplets, diameter, uniformity, mineral oil, Application Technology

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Condições de trabalho durante as pulverizações nos dois experimentos (2013 e 2014). Borborema - SP.....25

Tabela 2. Depósito de fungicida em plantas de citros por pulverizadores e volumes aplicados em função dos pontos de amostragem. Borborema – SP, Brasil.....37

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Médias do diâmetro de gotas produzidas pelo bocal efervescente no primeiro experimento variando-se concentrações de óleo mineral na calda, pressões de trabalho e diâmetro do dosador. Jaboticabal-SP, 2014.....52

Tabela 2. Valores de tensão superficial e viscosidade das caldas contendo óleo mineral (experimento 1) e das caldas contendo os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano (experimento 2).....57

Tabela 3. Médias do diâmetro de gotas produzidas pelo bocal efervescente no segundo experimento usando-se os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano, na dose recomendada e dez vezes maior, variando-se pressões de trabalho e diâmetro do dosador.....59

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Composição das caldas fitossanitárias utilizadas no experimento.....74

Tabela 2. Correlação existente entre as variáveis das caldas fitossanitárias, pela análise de componentes principais, bem como seus coeficientes, por meio da

análise de fatores (rotação biquartimax normalizada), considerando-se os três componentes principais mais representativos.....86

CAPÍTULO 5

Tabela 1. Composição das caldas fitossanitárias utilizadas no experimento e condições meteorológicas no momento das medições no tensiômetro.....98

Tabela 2. Características físicas de gotas pendentes formadas por caldas fungicidas contendo doses crescentes de óleo mineral e sulfato de manganês e de gotas aplicadas sobre a superfície de folhas de laranjeira e de vidro.....103

Tabela 3. Porcentagem de redução do ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície de folhas de laranjeira após 5, 30 e 60 segundos.....109

Tabela 4. Porcentagem de redução do ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície de vidro após 5, 30 e 60 segundos.....109

Tabela 5. Porcentagem do volume evaporado de gotas de 1500 μm de diâmetro obtidas por caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de MnSO_4113

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Ilustração das configurações dos pulverizadores utilizados. A. Pulverizador convencionalmente usado na propriedade. B. Pulverizador SMART para aplicação de volumes reduzidos. C. Foto do pulverizador convencional no momento da calibração. D. Foto do pulverizador SMART, no momento do ajuste de direcionamento dos jatos.....22
- Figura 2.** Esquema da parcela experimental, indicando o caminhamento dos pulverizadores por entre as plantas de citros durante o tratamento fitossanitário.....24
- Figura 3.** A. Amostragem das posições externas, entre planta e internas na planta. B. Amostragem das posições no terço superior e inferior da planta de citros.....26
- Figura 4.** Cobertura, volumes de calda e de fungicida depositados nas plantas de citros usando-se diferentes pulverizadores e volumes de aplicação. A. Primeiro experimento. B. Segundo experimento. Tratamentos seguidos por letras minúsculas diferentes na linha da mesma variável no gráfico diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....29
- Figura 5.** Porcentagem de área coberta por gotas nos pontos externos, entre plantas e internos de plantas de citros em função dos volumes de aplicação. A. Primeiro experimento (2013) (CV=16%). B. Segundo Experimento (2014) (CV=19%). Borborema – SP. Letras minúsculas comparam os pontos no mesmo tratamento enquanto letras maiúsculas comparam um ponto entre os seis volumes de aplicação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....31

Figura 6. Porcentagem de área coberta por gotas nos pontos altos e baixos de plantas de citros em função dos volumes de aplicação. A. Primeiro experimento (2013) (CV=27%). B. Segundo Experimento (2014) (CV=26%). Borborema – SP. Letras minúsculas comparam os pontos no mesmo tratamento enquanto letras maiúsculas comparam um ponto entre os seis volumes de aplicação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....32

CAPÍTULO 3

Figura 1. Fotos em diferentes ângulos do bocal pneumático sendo utilizado a campo para aplicação em pomar de citros. Borborema – SP, Brasil, 2013.....48

Figura 2. A. Equipamento Mastersizer S[®], versão 2.19, para medição do espectro de gotas pulverizadas pelo bocal efervescente. B. Disposição do bocal efervescente para a medição do espectro de gotas, com ilustrações do jato e do feixe de laser produzidos.....49

Figura 3. Desdobramento de valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) e uniformidade do tamanho de gotas (SPAN) produzidas em bocal efervescente em função de concentrações do adjuvante óleo mineral na calda, variações na pressão de calda/ar e no tamanho do orifício do dosador Colunas dentro de cada tratamento seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).....55

Figura 4. Desdobramento da porcentagem do volume de calda pulverizado por gotas menores que 50 e 100 μm , em função de doses crescentes do adjuvante óleo mineral, pressões de calda/ar e do tamanho do orifício dosador empregados no bocal efervescente.....56

Figura 5. Desdobramento do diâmetro mediano volumétrico (DMV) e uniformidade do tamanho de gotas (SPAN) produzidas em bocal efervescente usando-se caldas com os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano em 1 e 10 vezes a dose recomendada, variando a pressão de calda/ar e o tamanho do orifício do dosador. Colunas dentro de cada tratamento seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).....62

Figura 6. Desdobramento da porcentagem do volume de calda pulverizado por gotas menores que 50 e 100 μm , usando-se caldas com os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano em 1 e 10 vezes a dose recomendada, variando a pressão de calda/ar e o tamanho do orifício do dosador no bocal efervescente.....63

Figura 7. Variação na vazão de água pelo bocal efervescente em função de variação na pressão da calda/ar, em kPa, e no tamanho do orifício do dosador.....64

CAPÍTULO 4

Figura 1. Ilustração das medições de variáveis para as 27 caldas fitossanitárias. A. Separação de calda após 10 minutos.....76

Figura 2. A. Foto do equipamento tensiômetro (OCA – DataPhysics®). B. Formação de gota pendente na ponta da agulha para análise da imagem e leitura do valor de tensão superficial da calda.....77

Figura 3. Foto da aplicação de gotas sobre a superfície foliar de citros, usando o equipamento tensiômetro, para verificação do ângulo de contato de gotas usando a média dos dois ângulos.....77

Figura 4. Esquema da metodologia utilizada para verificar o volume de calda retido por área foliar de citros.....78

Figura 5. Dendrograma da análise de agrupamento das 27 caldas fitossanitárias pelo método hierárquico, com distâncias euclidianas entre caldas e ligação de grupos pelo método de Ward, considerando dez variáveis distintas.....81

Figura 6. Projeção da análise de agrupamento das 27 caldas fitossanitárias em três grupos (aquosas, oleosas e intermediárias), pelo método não-hierárquico “K-means” e usando-se a matriz de distância euclidiana, considerando as variáveis distintas. *Diferença significativa entre grupo para a variável. ^{ns}Grupos não diferem entre si pela análise de variância. ¹Grupos em cada variável seguidos por letras minúsculas diferentes na vertical diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).....82

Figura 7. Projeção da interação entre variáveis de 27 caldas fitossanitárias pela análise de componentes principais, combinando-se os três fatores mais significativos, seguindo-se o critério de Kaiser. A. Projeção entre os fatores com a maior representatividade (61,31%) da interação entre variáveis. B. Projeção com 58,7% de representatividade. C. Projeção com 35,67% de representatividade.....85

Figura 8. Projeções da relação entre três variáveis, considerando-se 27 caldas fitossanitárias. A. Influência da condutividade e densidade na separação dos componentes da calda após 10 minutos de seu preparo. B. Influência da condutividade e tensão superficial da calda no ângulo de contato de gotas pulverizadas e depositadas sobre a superfície de folhas de citros. C. Influência da tensão superficial e ângulo de contato de gotas na retenção de calda por folhas de citros.....90

CAPÍTULO 5

Figura 1. Projeção das médias de ângulo de contato e área molhada por gotas aplicadas na superfície de folhas de laranjeira, durante 60s. Letras minúsculas acima das colunas diferenciam as porcentagens de óleo dentro de cada dose de $MnSO_4$ e letras maiúsculas na base das colunas diferenciam as doses de $MnSO_4$ em cada

porcentagem de óleo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). **Tratamento significativamente diferente dos demais.....104

Figura 2. Ângulo de contato de gotas sobre a superfície de folhas de laranjeira 10 segundos após a aplicação, usando-se caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de $MnSO_4$. Imagens obtidas em equipamento Tensiômetro OCA.....105

Figura 3. Projeção das médias de ângulo de contato e área molhada por gotas aplicadas na superfície de vidro, durante 60s. Letras minúsculas acima das colunas diferenciam as porcentagens de óleo dentro de cada dose de $MnSO_4$ e letras maiúsculas na base das colunas diferenciam as doses de $MnSO_4$ em cada porcentagem de óleo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). **Tratamento significativamente diferente dos demais.....105

Figura 4. Ângulo de contato de gotas sobre a superfície de vidro 10 segundos após a aplicação, usando-se caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de $MnSO_4$. Imagens obtidas em equipamento Tensiômetro OCA.....106

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira tem se destacado pela grande quantidade de frutas de mesa e de suco produzidos e exportados para diferentes mercados consumidores no mundo (CONAB, 2012). No entanto, problemas de ordem fitossanitária, econômica e cultural, têm dificultado o setor que vem perdendo área plantada, anualmente.

O custo de produção nos pomares tem aumentando com o surgimento de novas pragas e patógenos, preocupando os produtores que negligenciam problemas que já estavam sob controle. Tal hipótese é observada pelo incremento no número de plantas em pomares paulistas com a doença cancro cítrico (*Xanthomonas citri* subsp. *citri*). Isso ocorreu em decorrência da mudança de foco para o controle de *Diaphorina citri* (Kuwayama, 1908) (Hemiptera: Psyllidae), vetor da doença Huanglongbing (FUNDECITRUS, 2013).

As pulverizações se tornam frequentes em pomares de citros, sobretudo quando o destino dos frutos é para o consumo *in natura*, exigindo pulverizações em curtos intervalos de tempo. No entanto, a maneira como se tem realizado esses tratamentos está muito aquém do que se espera em termos de alta eficiência de controle, diminuição de riscos ambientais e redução de custos operacionais (CUNHA et al., 2012).

O uso de volumes de aplicação acima do ponto de máxima retenção de líquido pelas folhas é uma prática muito comum na citricultura brasileira e mundial (CUNHA et al., 2012; LARBI; SALYANI, 2012). A parte externa do dossel das plantas pulverizadas fica com acúmulo de calda, ao passo que muito pouco consegue adentrar as partes mais internas da copa onde muitos alvos biológicos podem habitar e ocasionar problemas (LARBI; SALYANI, 2012). Esse excesso de calda pulverizada implica em consequências diretas à eficiência de controle, custo de produção e à segurança do operador e do meio ambiente (MATUO, 1990).

Tecnologias de aplicação de produtos fitossanitários têm sido desenvolvidas no sentido de melhorar a chegada das gotas pulverizadas ao alvo, seja por ajustes

no volume de assistência de ar dos pulverizadores, novos modelos de bico, distribuição e posicionamento dos jatos, ou pela padronização e uniformização do tamanho de gotas produzido (MINGUELA, CUNHA, 2010; VELIZ; GADANHA JUNIOR; VÁSQUEZ-CASTRO, 2010; KHOT et al., 2012). Como consequência, há redução de processos de perda por exo e endo deriva (DERSKEN et al., 2007).

O sucesso da aplicação começa com a escolha da melhor máquina e do melhor modelo de bico que pode variar pela energia utilizada na produção das gotas, pela vazão e modelo de jato (NUYTTENS et al., 2007). Todas essas características interferem no tamanho e uniformidade de diâmetro das gotas produzidas, bem como variações na pressão de trabalho e o uso de determinados adjuvantes (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007; OLIVEIRA, 2011).

O uso de adjuvantes pode atuar de forma benéfica na proteção da gota em seu transporte até o alvo, diminuindo processo de evaporação e deriva (LAN et al., 2007; LASMAR et al., 2014). Além disso, podem favorecer a estabilidade das calda fitossanitárias e a eficiência de controle por melhorar o espalhamento e a absorção pela superfície foliar da cultura (KISSMANN, 1998; IOST; RAETANO, 2010; VAN ZYL et al., 2014;).

São muitas as variáveis modificadas pelo uso de adjuvantes na calda fitossanitária, de modo que cada adjuvante atua de forma específica, podendo ser escolhido conforme a característica da aplicação que se deseja melhorar. No entanto, existem poucos trabalhos práticos capazes de orientar sobre o melhor adjuvante a ser escolhido para determinada situação a campo.

Quando se pensa em reduzir o volume de aplicação, adjuvantes capazes de diminuir os riscos de deriva garantem a melhor chegada das gotas no alvo, evitando que altos volumes sejam necessários para haver a suficiente deposição do produto na planta (KISSMANN, 1998; VAN ZYL et al., 2014).

Outra forma de favorecer a qualidade da aplicação, associada a menores volumes de aplicação, é por meio de adjuvantes que aumentam o espalhamento de gotas nas superfícies foliares. Gotas capazes de se espalhar mais podem recobrir maior área e dispensar o uso de altos volumes que contemplam alta densidade de gotas pulverizadas (DECARO JUNIOR et al., 2014).

Alguns trabalhos mostram a influência do uso de classes de adjuvantes nas características da pulverização, seja na estabilidade da calda, produção e transporte de gotas ao alvo ou performance da mesma quando depositada. No entanto, poucos trabalhos consideram a relação entre essas variáveis, o que poderia contribuir com a escolha do adjuvante. Variações na tensão superficial da calda estão fortemente associadas com o ângulo de contato das gotas aplicadas sobre superfícies foliares (DECARO JUNIOR et al., 2014). Todavia, não se pode inferir sobre a interação entre tensão superficial e viscosidade, pH, condutividade e demais variáveis, por não haver resultados de trabalhos realizados.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar reduções no volume de aplicação em citros usando-se duas diferentes configurações de pulverizadores e bicos, bem como o padrão de gotas produzido pelos bocais usando-se diferentes caldas fitossanitárias. Objetivou-se também verificar a influência de diferentes adjuvantes nas variáveis da pulverização, bem como compará-los de forma conjunta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA PULVERIZAÇÃO EM CITROS

A cultura dos citros no Brasil tem prestígio e expressão mundial, tanto em termos de produtos para consumo *in natura*, como suco concentrado (CONAB, 2012). No entanto, o setor vem enfrentado crises em virtude dos preços no mercado externo e de problemas fitossanitários.

O Estado de São Paulo, juntamente com Minas Gerais, detém em torno de 80% da produção nacional de citros, o que representa 428 milhões de caixas colhidas, das quais 90% se destinam, em média, ao processamento, segundo dados da safra 2011/12 (CONAB, 2012). Em 2010, o Brasil sozinho produziu 18% de todo o citros no mundo (CONAB, 2012).

O produtor de citros constantemente lança mão de pulverizações de produtos fungicidas, inseticidas e acaricidas na tentativa de suprimir a ocorrência de inúmeros patógenos, insetos e ácaros, visando mantê-la abaixo do nível de dano econômico no pomar (FERREIRA, 2014). No entanto, após a manifestação do Huanglongbing (HLB), causado pela bactéria *Candidatus liberibacter* spp., a periodicidade de aplicações se intensificou, havendo uma pulverização a cada 15 dias, para controlar o vetor desta doença (LARANJEIRA et al., 2005).

Além do HLB, o produtor deve ficar sempre atento a demais problemas como a pinta-preta (*Guignardia citricarpa*), Podridão-floral-dos-citros (*Colletotrichum acutatum*), Leprose (CiLV), entre muitas outras (LARANJEIRA et al., 2005). Dessa forma, as pulverizações se tornam a maior aliada. Desde que realizadas nos moldes do conceito de tecnologia de aplicação, podem promover controle satisfatório do problema e de forma eficiente, sem maiores custos (MATUO, 1990).

Atualmente, os produtos fitossanitários regem custos da ordem de 15% do total, enquanto o custo de operação com máquinas gira entre 10 e 14% (CONAB, 2012). Portanto, o custo com pulverizações varia entre 25 e 30% do total (PAVANI, 2008).

Desde as primeiras pulverizações no século XX, estabeleceu-se um paradigma que vigora até o presente momento, sobre a utilização de altos volumes

de aplicação, além do ponto de escoamento, nos pomares. Mudanças ainda vagarosas, porém graduais, no âmbito fitossanitário, trazem uma tendência em se dirimir os riscos ambientais, decorrentes de desperdícios de calda que não atingem o alvo, por meio da redução dos volumes pulverizados, visando um incremento na eficiência da atividade e redução nos custos operacionais (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998; CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

Grandes volumes de água misturados aos produtos são argumento de defesa de agricultores e dos operadores que realizam aplicações, de modo a acreditarem que o sucesso da aplicação depende de quão molhada fica a folhagem das plantas ou o solo. Entretanto, há diversos trabalhos apontando que o volume de aplicação não é o responsável pelo controle do problema fitossanitário e que o molhamento excessivo durante as pulverizações promove perdas por escoamento e por meio da deriva (LARBI; SALYANI, 2012; VAN ZYL et al., 2014).

As pulverizações são predominantemente realizadas através de pulverizadores de arrasto, tratorizados, de jato transportado, que auxiliam no ganho de energia da gota produzida e sua penetração nos locais mais internos das plantas tratadas (CHUECA; CRAFTON-GARDWELL; MOLTÓ, 2009). Para esses equipamentos, o volume de calda adotado não se correlaciona diretamente com a eficácia de controle, aliando-se aos conceitos clássicos da tecnologia de aplicação, sendo possível diminuir a proporção de água utilizada em mistura com a calda, promovendo consideráveis reduções no custo do tratamento (CUNNINGHAM; HARDEN, 1999; RAMOS et al., 2007).

Há uma evidente incerteza por parte do produtor de citros que pensa em diminuir o volume de aplicação em seu pomar, podendo colocar em risco sua produção, uma vez que os devidos cuidados necessários nas técnicas que usam volumes baixos e ultra baixos não sejam tomados. Entretanto, trabalhos mostram que baixos volumes podem, além de diminuir custos da aplicação, melhorar a deposição do produto fitossanitário no alvo (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998; GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014).

Reduções dos volumes de aplicação podem ser realizadas, baseando-se em características da arquitetura e disposição das plantas nos pomares (PAVANI, 2008; DEKEYSER et al., 2014). Essas reduções no volume de aplicação implicam também

em mudanças na distribuição de bicos, tamanho de gotas, características de funcionamento dos pulverizadores, velocidade de trabalho, além de dosagem e formulação do produto fitossanitário (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998; 1999).

Magno Júnior et al. (2011) encontraram resultados superiores de densidade de gotas e cobertura na parte externa do dossel de plantas de citros, comparado às partes mais internas da planta, através de pulverização pneumática e eletrostática, quando comparada à pulverização convencional por meio de bocais hidráulicos.

Khot et al. (2012), variando o volume de assistência de ar e o volume de aplicação, verificaram que o uso de persianas, que variavam a abertura da assistência de ar, têm correlação direta com a velocidade de ar na saída de pulverizadores de arrasto, tratorizados, de jato transportado. Dessa forma, variando-se o volume e velocidade da assistência de ar, obtém-se maior quantidade de produto que chega ao alvo, quando comparada à variações na vazão dos bicos de pulverização.

Algumas doenças dos citros, como a podridão-floral-dos-citros e a verrugose (*Elsione* spp.), cujos agentes causais se alojam nas partes mais externas das plantas de citros, conforme mencionado no item 2.1., podem ser controladas por meio de pulverizações com volumes de aplicação reduzidos (SCANDELAY, 2011). Isso parte do pressuposto de que não se faz necessária alta cobertura por gotas e deposição de calda nas partes internas da copa das plantas, que são alvos difíceis de serem atingidos. Dessa forma, pode-se obter melhor qualidade da pulverização, por meio do uso de tecnologias que visam à redução do volume de aplicação, sobretudo para as partes mais externas do dossel das culturas.

Em condições climáticas que favorecem a ocorrência de determinados patógenos, o tratamento fitossanitário faz-se necessário rapidamente para que os patógenos não se espalhem e causem maiores danos na área do pomar (GOES et al., 2008). Dessa forma, o uso de um pulverizador aplicando volumes de calda reduzidos, teria sua autonomia de trabalho aumentada, o que favorece o tratamento de áreas maiores em menos tempo, impedindo o espalhamento dos patógenos (DECARO JUNIOR, 2013).

2.2. REDUÇÃO NO VOLUME DE APLICAÇÃO

A classificação atual de volume de aplicação propõe que volume alto deva exceder o volume máximo de retenção de calda na superfície das folhas, frutos ou demais superfícies alvo, implicando em desperdício de calda por escorrimento do produto ao solo (FERREIRA, 2014).

O uso de volume baixo considera uma quantidade de calda anterior ao ponto de máxima retenção de calda das superfícies alvo, reduzindo perdas por escorrimento. Finalmente, as aplicações a volume ultra baixo são aquelas que aplicam somente o volume necessário por área para que haja um controle fitossanitário satisfatório por meio de gotas de tamanho reduzido produzidas no bico de pulverização (MATTHEWS, 1979). É importante ressaltar que o bico de pulverização constitui-se pela capa, filtro, em alguns casos, o anel de vedação e pela ponta de pulverização (MATUO, 1990). O termo ponta de pulverização refere-se somente a um dos itens constituintes.

Tratamentos realizados em culturas arbóreas devem considerar a largura do dossel e a quantidade de folhas (CHUECA; CRAFTON-GARDWELL; MOLTÓ, 2009; DEKEYSER et al., 2014). Consultores de citros têm considerado um volume de aplicação ótimo correspondendo a 100 mL por m² de copa de cada planta, de modo a adequar a pulverização ao porte da planta e ao espaçamento na área. Há também o método da cubicagem, que considera a largura da copa multiplicada pela profundidade e pela altura, de modo que para cada m³ de copa, adiciona-se 75 mL de calda (SILVA, 2014). Outros métodos podem ser empregados para outras culturas arbóreas, arbustivas como o café e herbáceas como soja, amendoim, feijão, etc., a fim de que o volume seja escolhido com critério (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Trabalhos na cultura da uva mostram que o uso de técnicas como manejo do fluxo de assistência de ar, uso de diferentes bicos de pulverização, adequação das condições meteorológicas durante as pulverizações, entre outros fatores, possibilitaram o sucesso de aplicações de calda com volumes reduzidos (WHITNEY et al., 1989; FURNESS; THOMPSON, 2008). Na cultura da maçã, trabalhos mostram reduções de até 90% no volume de calda, com igual eficiência da pulverização comparada a altos volumes (WICKS; NITSCHKE, 1986; CROSS et al., 2001).

Em plantas de café, o uso de bicos de pulverização de energia gasosa é capaz de promover maior homogeneidade na deposição do volume pulverizado entre as partes internas e externas, além de possibilitarem reduções no volume de calda aplicado (MIRANDA et al., 2009). Decaro Junior (2013), avaliando a qualidade da pulverização a partir de um pulverizador com bicos pneumáticos, em comparação a um pulverizador com bicos hidráulicos, verificou que a homogeneidade de deposição de calda do primeiro foi superior nas alturas e partes internas e externas de plantas de café. Essa maior homogeneidade de deposição foi atrelada à redução de 80% no volume de calda aplicado nas plantas, em comparação ao volume comumente utilizado para o controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842), resultando em eficiência de controle acima de 80%.

Também na cultura do café, Decaro Junior, Ferreira e Lasmar (2012), observaram que o uso correto de pontas de pulverização hidráulicas pode resultar em superior deposição e controle de larvas de *L. coffeella*, reduzindo-se o volume de aplicação em 50%.

Espera-se que as técnicas de pulverização a volumes baixos e ultra baixos possam quebrar os paradigmas formados durante várias décadas em que os volumes altos de aplicação têm sido praticados na citricultura. Uma vez utilizadas corretamente, essas técnicas mais racionais trariam benefícios ambientais e econômicos ao setor (FERREIRA, 2014).

Portanto, quando se pensa em utilizar tecnologias capazes de reduzir os volumes de calda pulverizados, deve-se considerar primeiramente o uso de gotas de tamanho reduzido, sua proteção e longevidade por meio do uso de adjuvantes e as condições meteorológicas no momento da aplicação (FERREIRA, 2014).

A produção de gotas pequenas garante uma melhor distribuição do produto sobre o alvo, aumentando as chances de sucesso quando se trata de produtos fitossanitários de contato para controle de doenças e insetos-praga com baixa mobilidade na planta (ANTUNIASSI, 2005). Essas gotas são consideradas ideais em condições onde há assistência de ar que adiciona energia às gotas e facilita seu contato com o alvo em locais considerados de difícil acesso na planta (RAMOS et al., 2007).

Na ausência de assistência de ar, gotas menores que 150 μm permanecem maior tempo suspensas no ar, o que as deixa mais susceptíveis a perdas por exoderiva, uma vez que não há energia suficiente para que se depositem no alvo (JESUS JÚNIOR et al., 2007). Dessa forma, as gotas podem ser facilmente levadas pelo vento para áreas não-alvo, ou evaporarem. Essas perdas estão diretamente relacionadas a condições meteorológicas, preconizando-se as aplicações em períodos de temperatura mais amena ($<30^{\circ}\text{C}$), sem a ocorrência de convecção térmica, ventos com alta velocidade, pouca umidade relativa do ar ($<50\%$), sendo necessário o uso de adjuvantes capazes de diminuir a volatilização das gotas pulverizadas (WODAGENEH; MATTHEWS, 1981; FERREIRA, 2006).

O controle de doenças e algumas pragas como ácaros e larvas minadoras requer aplicações de alta qualidade, de modo que 50 a 70 gotas de 100 a 200 μm atinjam cada cm^2 da folhagem a ser tratada, quando do uso de produtos que atuam por ação de contato (MINGUELA; CUNHA, 2010). Para produtos com ação sistêmica na planta, a quantidade recomendada de gotas com diâmetro entre 200 e 300 μm é de 30 a 40 por cm^2 .

Conhecer o alvo é fundamental para saber se o tratamento necessita de mais ou menos volume aplicado. O controle de doenças, por exemplo, requer cobertura foliar maior em relação ao controle de insetos e plantas daninhas, a fim de que o alvo, representado pelo patógeno, seja atingido com o produto. Isso se deve ao fato de que, muitas das vezes, mesmo que a recomendação inclua o uso de gotas pequenas (100 a 200 μm), a aplicação poderá exigir gotas de diâmetro maior em função das condições meteorológicas desfavoráveis no momento da aplicação (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Não somente a produção de gotas pequenas incorre a perdas, como também de gotas grossas que escorrem para o solo e são involuntariamente produzidas nas pontas hidráulicas, que acompanham a grande maioria dos pulverizadores comercializados atualmente (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007).

Gotas grandes acabam se depositando na folhagem mais externa de plantas de citros, café e demais arbóreas e, da mesma forma, em culturas anuais como a soja, feijão, etc (VELIZ; GADANHA JUNIOR; VÁSQUEZ-CASTRO, 2010). Esse acúmulo de gotas na periferia das plantas promove o escorrimento do conteúdo

pulverizado para o solo (LEFEBVRE, 1989). Esse processo de perda é muitas vezes presenciado logo após aplicações com altos volumes em diferentes culturas.

A produção de gotas de tamanho uniforme possibilita que as pulverizações sejam feitas com volume de calda reduzido, conforme encontrado por Parnell et al. (1999) e Wise et al. (2010). Estes autores trabalharam com bicos de pulverização de energia centrífuga, que produzem gotas com espectro de tamanho bem definido, o que permitiu resultados satisfatórios usando volumes de calda reduzidos e obtendo-se boa eficiência de pulverização.

A mistura de surfatantes às caldas de pulverização melhora o processo de coalescência das gotas, facilitando o espalhamento sobre as superfícies foliares devido à redução da tensão superficial da calda e do ângulo de contato das gotas sobre com a superfície foliar (MONTÓRIO, 2001). Kissmann (1998), explica que o uso de óleos misturados à calda reflete em maior proteção da gota pulverizada, diminuindo perdas por evaporação, em condições climáticas desfavoráveis.

Havendo proteção das gotas pulverizadas, menores serão as perdas por deriva, que podem facilmente atingir a proporção de 30% do volume de calda aplicado (ABI SAAB, 2004). Teoricamente, o volume de calda que ficaria protegido contra a exoderiva, poderia ser subtraído do planejado no tratamento, sem que houvesse perda na qualidade do controle.

O benefício advindo do uso de adjuvantes em mistura na calda também se manifesta pelo maior espalhamento das gotas por sobre o alvo, de modo que menos gotas acabam sendo necessárias para recobrir a mesma área que outrora era conseguida com maior número de gotas depositadas (VAN ZYL et al., 2014; DECARO JUNIOR et al., 2014). Assim, é possível a adoção de volume de aplicação reduzido sem que haja diminuição na porcentagem de cobertura do alvo. Em experimento com citros, Chueca, Crafton-Gardwell e Moltó (2009), fazendo uso de adjuvante à base de óleo, obtiveram igual controle *Coccus pseudomagnoliarum* (Kuwana, 1914) com volumes reduzidos em comparação a altos volumes.

Demais efeitos benéficos do uso de adjuvantes durante a pulverização podem se manifestar nas propriedades físicas da calda, ainda no tanque do pulverizador, como no caso de quelatizantes, condicionadores de pH e tensoativos, conforme já mencionado anteriormente (IOST; RAETANO, 2010). Além disso, pode haver

também efeito positivo no momento da formação da gota no bocal, de modo que certos adjuvantes podem evitar a produção de gotas muito pequenas e suscetíveis a deriva, bem como favorecer a padronização de seus diâmetros (MILLER; BUTLER-ELLIS, 2000; GANDOLFO et al., 2013). Havendo boa uniformidade no espectro de gotas pulverizadas, a pulverização pode ser feita com o diâmetro ideal, evitando perdas decorrentes de tamanhos marginais, como gotas muito finas e muito grossas.

Por fim, havendo o depósito das gotas por sobre as folhas, determinados adjuvantes, podem, além de aumentar seu espalhamento, modificar a permeabilidade foliar e facilitar a passagem do produto para dentro da folha (KISSMANN, 1998). Assim, um menor volume de aplicação seria possível para o caso de gotas contendo produtos com ação sistêmica na planta, sendo necessárias menos gotas para um controle eficaz do problema, desde que concentrando-se a calda com o produto para manter a dose por área (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998).

As bulas dos produtos fitossanitários em comercialização não informam a dose ideal a ser utilizada por área. Em vez disso, informam a quantidade do produto por volume de água utilizado. Esta informação é desnecessária e confunde o operador no momento da regulagem e do preparo da calda no tanque do pulverizador.

Para aumentar ou diminuir o volume aplicado sem comprometer a qualidade da pulverização, devemos manter a quantidade do produto fitossanitário na área e realizar a troca da ponta de pulverização. As pontas devem produzir a mesma faixa adequada de tamanho de gotas, porém com menor ou maior vazão nominal, sem que haja pressão de trabalho acima ou abaixo da faixa ideal indicada na tabela do fabricante.

A escolha do volume de aplicação correto para a distribuição do produto no alvo permite que o rendimento operacional do tratamento seja maior, considerando as paradas para reabastecimento (MATUO, 1990). Quanto maior o volume, mais paradas para reabastecer, o que resulta em maior tempo gasto na pulverização e maior custo operacional.

Altos volumes aplicados também oneram a operação, considerando que parte significativa do produto fitossanitário pode atingir locais não-alvo, resultando em um

controle com pouca eficiência e alto risco de contaminação ambiental, além da diminuição do desempenho operacional (CUNHA et al., 2012).

O uso correto da tecnologia de aplicação pelo conhecimento do alvo a ser controlado, da ação do produto fitossanitário empregado e de minúcia na regulagem e calibração do pulverizador possibilita que o tratamento seja feito com o volume próximo do ideal. Dessa forma a atividade passa a ser mais sustentável, com menor custo econômico e ambiental, garantindo a eficácia do controle por meio dos produtos fitossanitários utilizados.

3. REFERÊNCIAS

ABI SAAB, O. J. G. Indicador de velocidade de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n. 1, p. 21- 26, 2004.

ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. In: V Congresso Brasileiro de Algodão, 2005, Salvador. **Anais...** V Congresso Brasileiro de Algodão, 2005, p.1 - 6.

CHUECA, P.; CRAFTON-GARDWELL, E. E.; MOLTÓ, E. Influence of Spray Equipment and Water Volume on Coverage of Citrus and Control of Citricola Scale, *Coccus pseudomagnoliarum* (Hemiptera: Coccidae) With Mineral Oil. **Journal Econ. Entomol.**, v.102, n.1, p.296-303, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Custo de produção de culturas permanentes - Citros**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1556&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em 10 de junho de 2015.

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: 1. Effects of spray liquid Flow rate. **Crop Protection**, v.20, p.13-30, 2001.

CUNHA, J. P. A. R ; CHUECA, P.; GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. **Crop Protection**, v. 42, p. 116 – 123, 2012

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2 p. 344-348, 2001.

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

CUNNINGHAM, G. P.; HARDEN, J. Reducing spray volume applied to mature citrus trees. **Crop Protection**, v.17, n.4, p.289-292, 1998.

CUNNINGHAM, G. P.; HARDEN, J. Sprayers to reduce spray volumes in mature citrus trees. **Crop Protection**, v.18, p.275-281, 1999.

DECARO JUNIOR, S. T. **Avaliação de um pulverizador de volume ultra baixo na cultura do café para o controle de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae)**. 2013. 102f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Departamento de Fitossanidade, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O. Reduced spraying liquid volumes for *Leucoptera coffeella* control in coffee plants. In: **The 24th international conference on coffee science**, 2012, San Jose. The 24th international conference on coffee science, 2012. p. 286.

DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantation. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 415-422, 2014.

DEKEYSER, D.; FOQUÉ, D.; DUGA, A. T.; VERBOVEN, P.; HENDRICKX, N.; NUYTENS, D. Spray deposition assessment using different application techniques in artificial orchard trees. **Crop Protection**, v. 64, p. 187-197, 2014.

DESKEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 5 1493 – 1501, 2007.

FERREIRA, M. C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. (Orgs.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1 ed. Piracicaba, SP: Prol Editora Gráfica, 2006. cap. 17, p. 293-303.

FERREIRA, M. C. Aplicação de produtos fitossanitários e calibração de pulverizadores para a cultura dos citros. In: ANDRADE, D. J.; MARTINELLI, N. M.; FERREIRA, M. C. (Ed.). **Aspectos da fitossanidade em citros**. Jaboticabal: Cultura Acadêmica, 2014. cap. 9, p. 245 – 265.

FUNDECITRUS – **Incidência de cancro cítrico aumenta 39% no Estado de São Paulo**. Comunicação, 2013. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/incidencia-de-cancro-citrico-aumenta-39-no-estado-de-sao-paulo/13>>. Acesso em 26 de junho de 2015.

FURNESS, G. O.; THOMPSON, A. J. Using Point of First Run-off and Spray Volume in Litres per 100 Metres per Metre of Canopy Height for Setting Pesticide Dose. **Agricultural Engineering International: the GIGR Ejournal**. Manuscript ALNARP 08 006. Vol. X. May, 2008.

GANDOLFO, M. A.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D. de. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 474 - 480, 2013.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Factors influencing the efficacy of two organophosphate insecticides in controlling California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell). A basis for reducing spray application volume in Mediterranean conditions. **Pest Management Science**, v.70, p. 28 – 38, 2014.

GOES, A.; GARRIDO, R. B. O.; REIS, R. F.; BALDASSARI, R. B.; SOARES, M. A. Evaluation of fungicide applications to sweet orange at different flowering stages for control of postbloom fruit drop caused by *Colletotrichum acutatum*. **Crop Protection**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 71 –76, 2008.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatante em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.670-680, 2010.

JESUS JÚNIOR, W. C.; POLANCZYK, R. A.; PRATISSOLI, D.; PEZZOPANE, J. E. M.; SANTIAGO, T. **Atualidades em Defesa Fitossanitária**. Alegre/ES. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 476p. p.:il.: 21cm. 2007.

KHOT, L. R.; EHSANI, R.; ALBRIGO, G.; LARBI, P. A.; LANDERS, A.; CAMPOY, J.; WELLINGTON, C. Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and 21 deposition assessments in small-sized citrus canopies. **Biosystems Engineering**, United States of America, v.113, p. 76-85, 2012.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. B. (Org.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 39-51.

LAN, Y.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K; MARTINS, D. E.; LOPEZ, L. E. 2007. Drift reduction with drift control adjuvants. **ASABE**. St. Joseph. 14 p. (paper n. 071060).

LARANJEIRA, F. F.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; AGUILAR-VILDOSO, C. I.; COLETTA FILHO, H. D. Fungos procariotos e doenças abióticas. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D. De; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. cap.18, p. 511-558.

LARBI, P.A.; SALYANI, M. Model to predict spray deposition in Citrus airblast sprayer applications: part 2. Spray deposition. **Transactions of the ASABE**, v.55, p.41 – 48, 2012.

LASMAR, O.; FERREIRA, M. C.; DECARO JUNIOR, S. T.; LORENCON, J. R. Droplet size of pneumatic spraying nozzles used for the control of coffee pests. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 441 - 444, 2014.

LEFEBVRE, A. H. **Atomization and sprays**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. 421p.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**. Uberlândia-MG, Brasil.v.27, n. 5, p798-804, 2011.

MATTHEWS, G. A. 1979. **Pesticide Application Methods**. Longman Group Limited 1979, Longman Inc., New York. ISBN 0-582-46054-9.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139p.

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

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588 p.

MIRANDA, G. R. B.; RAETANO, C. G.; CUNHA, M. D. Q.; PINHEIRO, J. M.; CARVALHO, R. H.; GONÇALVES, M. P.; REINATO, C. H. R.; PAIVA, L. C.; SILVA, V. C. Influência do volume de calda na qualidade da pulverização no interior da copa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) – Papéis hidrossensíveis. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2009. **Anais...** Vitória, ES.

MONTÓRIO, G. A. 2001. Eficiência dos surfatantes agrícolas na redução da tensão superficial. **Tese de Doutorado**. Botucatu SP. Universidade Estadual Paulista.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

PARNELL, M. A.; KING, W. J.; JONES, K. A.; KETUNUTI, U.; WETCHAKIT, D. A comparison of motorised knapsack mistblower, medium volume application, and spinning disk, very low volume application, of *Helicoverpa armigera* nuclear polyhedrosis virus on cotton in Thailand. **Crop Protection**, v.18, p.259-265, 1999.

PAVANI, A. T. **Aplicação de agroquímicos em citros**. Agrofit, 2008. Disponível em: <<http://www.agrofit.com.br/portal/citros/53-citros/74--aplicacao-de-agroquimicos-em-citros>>. Acesso em 10 de junho de 2015.

RAMOS, H.H.; YANAI, K.; CORRÊA, I.M.; BASSANEZI, R.B.; GARCIA, L.C. Effect of carrier volume applied with a airblast sprayer on spray Characteristics in citrus. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.56 – 65, 2007.

SCANDELAY, L. H. M. 2011. Interferência do volume de calda sobre a deposição e cobertura da pulverização com e sem surfatante em inflorescências de laranja doce. **Dissertação de Mestrado**. Araraquara SP. Fundo de Defesa da Citricultura.

SILVA, F. P. Menos volume de calda com a mesma eficiência. **Citricultor**, São Francisco Gráfica e Editora Ltda – Ribeirão Preto, n.23, p.6-7, 2014.

VAN ZYL, J. G.; SIEVERDING, E. G.; VILJOEN, D. J.; FOURIE, P. H. Evaluation of two organosilicone adjuvants at reduced foliar spray volumes in South African citrus orchards of different canopy densities. **Crop Protection**, v.64, p.198-206, 2014.

VELIZ, R. C.; GADANHA JUNIOR, C. D.; VÁSQUEZ-CASTRO, J. A. Effectiveness of two systems for the spraying of pesticides in citrus trees. **Revista Colombiana de Entomología**, v.36, n.2, p.217 – 222, 2010.

WHITNEY, J. D.; SALYANI, M.; CHURCHILL, D. B.; KNAPP, J. L.; WHITESIDE, J. O.; LITTELL, R. C. A Field Investigation to Examine the Effects of Sprayer Type, Ground Speed, and Volume Rate on Spray Deposition in Florida Citrus. **Journal of Agri. Engng Research**, v.42, p.275-283, 1989.

WICKS, T. J.; NITSCHKE, L. F. Control of Apple Diseases and Pests with low spray volumes and reduced chemical rates. **Crop Protection**, v.5, n.4, p.283-287, 1986.

WISE, J. C.; JENKINS, P. E.; SCHILDER, A. M. C.; VANDERVOORT, C.; ISAACS, R. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes. **Crop Protection**, v.29, p.378-385, 2010.

WODAGENEH, A.; MATTHEWS, G.A. The addition of oil to pesticide sprays – Effect on droplet size. **Tropical Pest Management**, v.27, p.121-124, 1981.

CAPÍTULO 2. CONFIGURAÇÃO DE PULVERIZADORES PARA APLICAÇÃO DE VOLUMES DE CALDA REDUZIDOS EM POMARES DE CITROS

RESUMO – Em pomares de citros o tratamento fitossanitário é comumente realizado via pulverização com volumes altos de calda que possuem baixa eficiência na colocação do produto no alvo. Com o objetivo de avaliar a qualidade da aplicação em pomar de citros, foram realizados dois experimentos utilizando-se um pulverizador convencional aplicando 1.200, 630 e 220 L ha⁻¹ e um pulverizador de volume reduzido, aplicando 160, 130 e 100 L ha⁻¹. Foi comparado o efeito dos volumes de aplicação na cobertura de papéis sensíveis, depósito de calda e de fungicida e a uniformidade entre as posições amostradas na planta, na horizontal (externa, entre planta e interna) e na vertical (altura superior e inferior). O pulverizador convencional a 630 L ha⁻¹ resultou em maior depósito de fungicida em relação ao maior volume de 1.200 L ha⁻¹. O pulverizador de volume reduzido, a 160 L ha⁻¹, além de maior depósito em relação aos 1.200 L ha⁻¹, também resultou em melhor uniformidade de distribuição do fungicida entre os pontos amostrados nas plantas de citros. O ajuste do volume de aplicação deve considerar a arquitetura e o enfolhamento das plantas de citros, bem como configurações da assistência de ar, do tipo do bico e da posição dos jatos de pulverização.

Palavras-chave: depósito de calda, ponta de pulverização, tecnologia de aplicação, uniformidade

CHARPTER 2. SPRAYERS CONFIGURATION FOR APPLYING REDUCED LIQUID VOLUMES IN CITRUS ORCHARDS

ABSTRACT – In citrus orchards the sanitary treatment is commonly performed by sprays with high liquid volumes, which provides low efficiency in putting the product in the target. With the aim to evaluate the quality of applications in citrus orchard, were carried out two experiments by employing a conventional sprayer applying 1.200, 630 and 220 L ha⁻¹ and a reduced volume sprayer, applying 160, 130 and 100 L ha⁻¹. Were compared the effect of the volumes on coverage of hydro sensitive papers, deposit of spraying liquid and fungicide and the uniformity among sampling points in the plant, in horizontal (external, between plants and internal) and in vertical (upper and lower height). The conventional sprayer at 630 L ha⁻¹ resulted in higher fungicide deposit in comparison with the higher volume of 1.200 L ha⁻¹. The reduced volume sprayer at 160 L ha⁻¹, in addition to the higher deposit in comparison with the 1.200 L ha⁻¹, also provided in better uniformity of fungicide distribution among the sampled points in citrus plants. The adjustment of application volume must consider citrus plants architecture and foliage density, as well as configurations of air assistance, nozzle type and spray jet position.

Key words: application technology, liquid deposit, spray nozzle, uniformity

1. INTRODUÇÃO

O pronunciado tamanho da copa, associado ao denso enfolhamento das plantas de citros, impõem desafios às pulverizações, sobretudo quando o problema fitossanitário requer boa cobertura por gotas e, conseqüentemente, depósito de calda no interior da copa das plantas (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998; 1999; LARBI; SALYANI, 2012).

A maior parte do volume pulverizado fica retida na folhagem mais externa da copa das plantas de citros, enquanto somente uma pequena porcentagem consegue atingir seu interior (CHUECA; GRAFTON-CARDWELL; MOLTÓ, 2009; GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014). Essa desuniformidade na aplicação é a grande responsável pela adoção de elevados volumes de aplicação por parte dos produtores de citros no mundo todo (ARAÚJO et al., 2013; CUNHA et al., 2012). Como consequência, as aplicações apresentam baixo rendimento operacional, alto desperdício de calda, maior custo e risco de contaminação em locais e organismos não alvos (CUNHA et al., 2012; VELIZ; GADANHA JUNIOR; VÁSQUEZ-CASTRO, 2010).

Vários fatores podem contribuir para a redução dos volumes de aplicação, como ajustes no volume da assistência de ar (KHOT et al., 2012); direcionamento e localização do jato em relação à arquitetura das plantas (CHUECA; GRAFTON-CARDWELL; MOLTÓ, 2009; DEKEYSER et al., 2014); produção de gotas finas com espectro uniforme (FOURIE et al., 2009; VOLL et al., 2006); uso de adjuvantes que aumentam o tempo de vida, adesão e espalhamento de gotas no alvo (VAN ZYL et al., 2010; 2014); modo de ação do produto fitossanitário (GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014; MARTINI; KINCY; NANSEN, 2012); recomendação de dosagem dos produtos por área em vez de dosagem por volume de água; e localização do alvo a ser tratado na planta.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a quantidade e uniformidade de cobertura por gotas, depósito de calda e de fungicida em pomar de citros, usando-se um pulverizador convencional e um pulverizador de volume reduzido, ambos com diferentes configurações e bicos de pulverização, aplicando volumes de calda reduzidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram instalados em pomar de citros não irrigado da variedade 'Valência' enxertada em limão 'Cravo', pertencente ao sítio São Luis, no município de Borborema – SP. Os pomares da região recebiam pulverizações de fungicidas de maneira preventiva, visando principalmente a proteção das plantas contra os patógenos causadores das doenças pinta-preta (*Guignardia citricarpa*) (Kiely, 1948) e podridão-floral-dos-citros (*Colletotrichum acutatum*) (Simmonds, 1968).

No primeiro experimento as plantas tinham seis anos, 3,1 m de altura e 3 m de diâmetro de copa, com arquitetura homogênea entre os blocos e parcelas, mantendo o espaçamento de 6,7 x 3,0 m. No segundo experimento, as plantas tinham sete anos, com as mesmas dimensões de copa encontradas no primeiro experimento. O pomar encontrava-se a 464 m de altitude nas coordenadas 21°33'51"S e 49°02'57"O, em clima temperado úmido - Cwa, com inverno seco e verão quente (KÖPPEN; GEIGER, 1928).

Foi utilizado um pulverizador terrestre de arrasto, tratorizado, de jato transportado, convencionalmente utilizado em citros, marca Arbus 4000 Valência (Jacto Máquinas Agrícolas S.A.) com 19 ramais em cada lado, sendo que nos experimentos, somente os dez primeiros foram usados para adequação do jato à altura das plantas (Figuras 1A e 1C). O pulverizador tem capacidade de 4.000 L e foi acoplado à tomada de potência do trator a 540 rpm, com um ventilador gerando $18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de ar à velocidade de 29 m s^{-1} , consumindo potência total de 66 HP. A distância média percorrida do jato pulverizado até a copa das plantas foi de 1,4 m (Figura 1A).

Comparativamente, foi usado o pulverizador montado, tratorizado, marca SMART 400 UBV® (PulsFog Pulverizadores Ltda.), de aplicação a volume ultra baixo. Suas configurações abrangem acoplamento a porta-implemento hidráulico de tratores agrícolas; acionamento na tomada de potência a 540 rpm, com ventilador gerando $1,75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de ar; peso vazio de 310 kg; oito saídas com assistência de ar contendo cada uma três bocais tipo cone cheio PulsFog, com vazão ajustável de 40 mL min^{-1} cada, dimensionados em um só lado do pulverizador (Figuras 1B e 1D); e

capacidade de tanque de 400 L. A potência consumida pelo pulverizador SMART é de aproximadamente 10 HP. A distância média percorrida pelo jato até a copa das plantas foi de 1 m (Figura 1B).

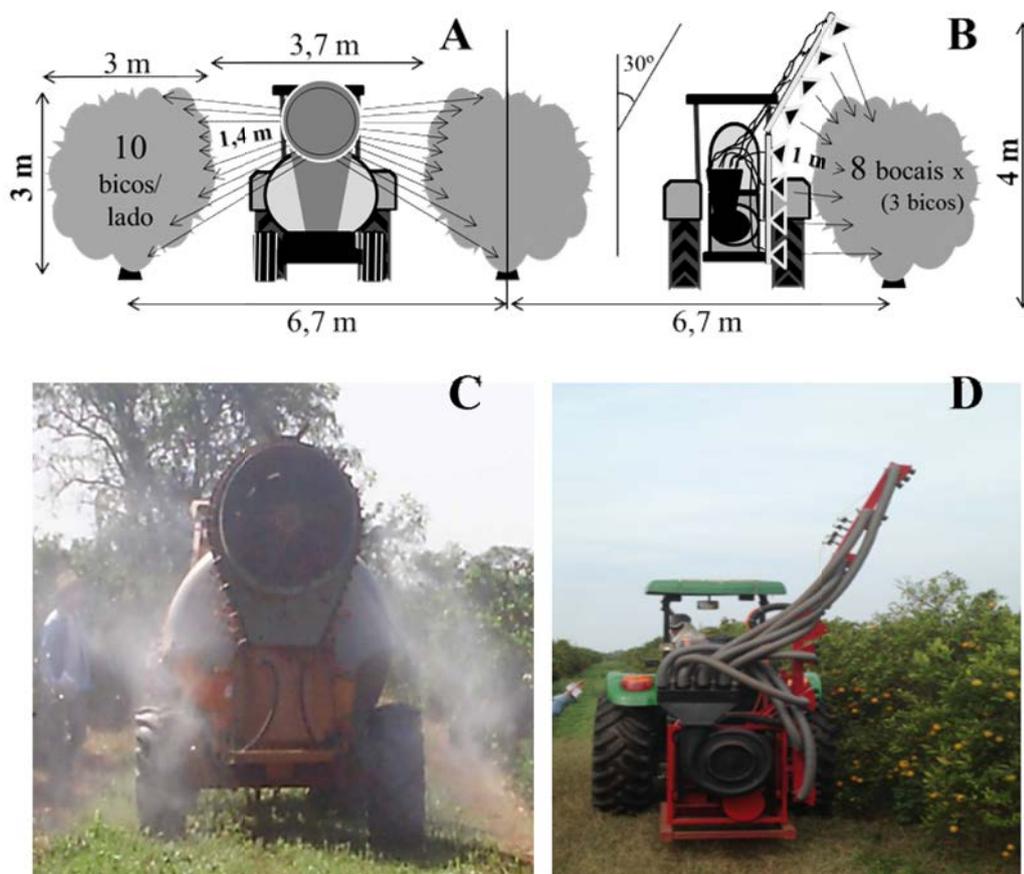


Figura 1. Ilustração das configurações dos pulverizadores utilizados. A. Pulverizador convencionalmente usado na propriedade. B. Pulverizador SMART para aplicação de volumes reduzidos. C. Foto do pulverizador convencional no momento da calibração. D. Foto do pulverizador SMART, no momento do ajuste de direcionamento dos jatos.

O pulverizador convencional foi equipado com pontas de pulverização de energia hidráulica, e o SMART com bicos híbridos que utilizam energia hidráulica e energia gasosa, denominados efervescentes. Este tipo de bico utiliza a energia hidráulica para cisalhar a calda pressurizada em gotas, mais a energia gasosa gerada por um fluxo de ar que passa ao redor do orifício de saída da calda dentro da câmara de mistura do bico, gerando um espectro de tamanho de gotas muito finas ($< 100 \mu\text{m}$) (ASAE, 2004).

O diâmetro mediano volumétrico produzido pelos bocais para cada um dos volumes pulverizados, e com suas respectivas caldas fitossanitárias, foi medido em equipamento Mastersizer S versão 2.19 (Malvern Instruments Co.).

O primeiro experimento foi realizado em 08 de agosto de 2013, após a ocorrência de chuvas e início do desenvolvimento do florescimento dos citros, sendo a época em que a aplicação se torna mais importante para o controle do patógeno *C. acutatum* (KUPPER et al., 2012). Este foi utilizado como modelo, entretanto, a mesma tecnologia pode ser empregada para outros alvos com a mesma distribuição na copa das plantas.

O segundo experimento ocorreu em 01 de outubro de 2014, também logo após o florescimento das plantas de citros, visando ao controle de *C. acutatum*, na mesma área utilizada do primeiro experimento, após nova casualização das parcelas.

Em virtude de prolongado período de seca entre o ano 2013 e 2014, ocorreu diminuição no enfolhamento das plantas. De acordo com o critério de Van Zyl et al (2014), classifica-se o enfolhamento de citros entre os níveis 1 (concentração de folhas muito esparsas, altamente aerada), 2 (concentração de folhas esparsa, bem aerada), 3 (bom balanço entre volume de folhas e aeração na copa), 4 (alto volume foliar, pequena aeração) e 5 (volume foliar muito alto, com aeração muito pobre). No primeiro experimento, as plantas se encontravam no nível 3,5, enquanto no segundo experimento, esse nível foi de 2.

2.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos contaram com seis tratamentos, representados por volumes de aplicação, mais uma testemunha sem aplicação, em quatro repetições, totalizando vinte e oito parcelas experimentais que foram distribuídas em delineamento em blocos casualizados. Cada parcela foi constituída de cinco linhas com seis plantas por linha, ficando a área útil, para coleta de folhas e avaliação de plantas, a linha central com duas plantas centrais avaliadas (Figura 2).

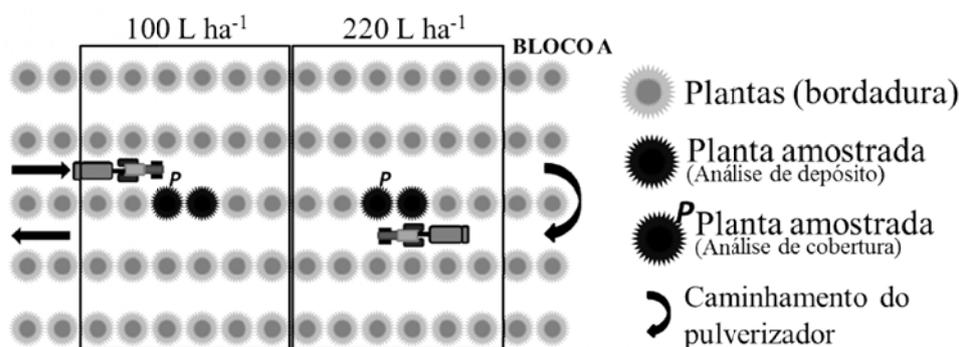


Figura 2. Esquema da parcela experimental, indicando o caminhar dos pulverizadores por entre as plantas de citros durante o tratamento fitossanitário.

Os volumes utilizados nos experimentos estão descritos na Tabela 1, de modo que o pulverizador SMART aplicou volumes ultra baixos de 160, 130 e 100 L ha⁻¹, enquanto o pulverizador convencional aplicou 1.200, 630 e 220 L ha⁻¹. O maior volume de 1.200 L ha⁻¹ é convencionalmente praticado com o pulverizador convencional, enquanto 630 L ha⁻¹ representava sua metade e 220 L ha⁻¹ representava o menor volume conseguido por meio da regulagem, sem comprometer a qualidade da aplicação. As diminuições no volume foram conseguidas por meio de diferentes modelos de pontas de pulverização, pressões e velocidades de trabalho (Tabela 1). Os bocais efervescentes do SMART combinaram as pressões da calda e do ar para adequar a vazão necessária.

Durante as pulverizações, os fatores relativos às condições meteorológicas (velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ambiente) foram medidos em equipamento termo-higrômetro e anemômetro (Tabela 1).

As caldas fitossanitárias continham o fungicida azoxistrobina+difenoconazol (Amistar Top[®] - Syngenta) na dosagem fixa de produto comercial de 0,6 L ha⁻¹, em mistura com água mais 6 L ha⁻¹ do adjuvante óleo mineral (Argenfrut[®] - Agrovant) e o marcador Sulfato de Manganês (31% Mn) (Oxiquímica Indústria e Comércio Ltda.). Este último foi utilizado na concentração de 10 e 20 g L⁻¹ de calda para o pulverizador convencional e para o SMART, respectivamente. Essa menor quantidade usada no pulverizador convencional foi tomada para que não houvesse problemas na homogeneização das caldas em virtude dos maiores volumes pulverizados.

Tabela 1. Condições de trabalho durante as pulverizações nos dois experimentos (2013 e 2014). Borborema - SP.

Volume (L ha ⁻¹)	Horário		Umidade Relativa (%)		T°C		Vento (km h ⁻¹)		Ponta/ dosador (mm)	Pressão Calda/ ar	Trator (km h ⁻¹)	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º				
220	11h00	10h45	45	58	29	30	5	8	TXA800067	10 por lado	1,4 Mpa	5,14
630	13h45	11h35	32	53	32	31	4,5	8	TXA8002	10 por lado	1,7 Mpa	5,14
1.200	14h40	12h20	32	52	31	31	4	7	TXA8003	10 por lado	2,5 Mpa	5,14
100	17h13	15h45	45	44	27	33	0,5	1	0,7 mm	24 (um lado)	59/44 kPa	5,14
130	16h35	16h25	33	48	33	32	1	2	0,7 mm	24 (um lado)	59/44 kPa	3,9
160	15h35	16h50	35	51	32	31	1	15	0,7 mm	24 (um lado)	59/44 kPa	3,1

O uso do óleo mineral teve a finalidade de reduzir o potencial de evaporação das gotas, sobretudo nos tratamentos em volume ultra baixo que produzem gotas de tamanho reduzido (LASMAR et al., 2014).

2.2. AVALIAÇÃO DO DEPÓSITO DE CALDA E FUNGICIDA NAS FOLHAS DE CITROS

Para verificação do depósito das gotas sobre as plantas, foi adicionado às caldas o marcador sulfato de manganês por sua estabilidade, mesmo em mistura com os produtos fitossanitários, tendo sido utilizado em outros trabalhos com depósito de calda sobre superfícies vegetais (ANDRADE; FERREIRA; FENOLIO, 2013; DECARO JUNIOR et al., 2014).

Uma hora após cada aplicação foram amostradas em cada parcela duas plantas centrais. Foram amostrados dez posições em cada planta, coletando-se duas folhas por ponto. A distribuição destas posições visou representar toda a planta, amostrando a deposição nas posições externas à copa (em ambos os lados da linha pulverizada e altura superior e inferior = quatro posições), entre plantas (altura inferior e superior = quatro posições) e em seu interior (altura superior e inferior = duas posições - Figuras 3A e 3B). Em cada parcela, portanto, foram amostradas vinte posições e coletadas 40 folhas.

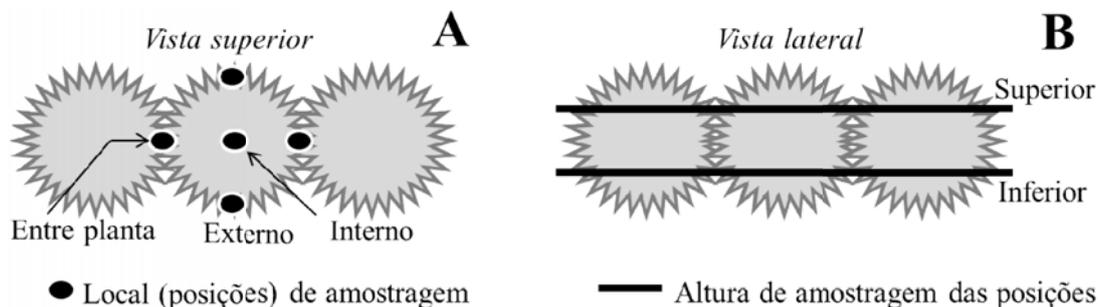


Figura 3. A. Amostragem das posições externas, entre planta e internas na planta. B. Amostragem das posições no terço superior e inferior da planta de citros.

As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório. Após 24 horas da coleta, os sacos contendo as amostras receberam, individualmente, 150 mL de solução de HCl 0,2N e foram mantidos por uma hora em repouso para a extração do manganês na superfície das folhas (OLIVEIRA; MACHADO-NETO, 2003). Posteriormente, os extratos foram filtrados e levados para leitura da concentração do íon Mn^{2+} em espectrofotômetro de absorção atômica (modelo iCE3000 - Thermo Scientific).

A área das folhas coletadas foi medida em aparelho LI-3100C Area Meter, da marca LI-COR[®], obtendo-se o valor total da superfície (adaxial + abaxial) em cm^2 . As concentrações de manganês obtidas nas leituras do espectrofotômetro foram correlacionadas às suas áreas foliares, resultando na quantidade de manganês expressa em μg por cm^2 de folha.

Paralelamente, em laboratório, foram aplicados 250 μL de cada uma das caldas usadas nas pulverizações, já com as concentrações de Mn^{2+} conhecidas, sobre folhas de citros oriundas de plantas não pulverizadas. Após 24 horas, essas folhas também foram submetidas ao mesmo processo de extração do manganês em solução de HCl 0,2N e foi realizada a leitura em espectrofotômetro e correlação com a área foliar, assim como realizado com as amostras de campo. Com a diferença entre a quantidade de manganês aplicada nos 250 μL e aquela lida no espectrofotômetro, foi obtida a taxa de recuperação para cada calda fitossanitária, expressa em porcentagem.

Uma vez conhecida a porcentagem de recuperação para cada calda, os valores de $Mn^{2+} \text{ cm}^{-2}$ encontrados nos tratamentos foram multiplicados pelo resultado da divisão entre 100 e a taxa de recuperação para as respectivas caldas. Dessa forma, estimou-se a quantidade real de manganês que foi depositado sobre as folhas das plantas nas parcelas.

Além disso, folhas de oito plantas úteis das parcelas não pulverizadas também foram coletadas nos mesmos dez pontos amostrais e submetidas ao processo de extração a fim de verificar a existência prévia de manganês nas folhas das plantas. A média de μg de Mn por cm^2 em todos os pontos amostrais foi subtraída de todo o conjunto de dados obtidos nos respectivos pontos das parcelas tratadas. Assim, o valor resultante expressou somente a quantidade de Mn ($\mu\text{g cm}^{-2}$) proveniente das pulverizações.

Por fim, em função do conteúdo de manganês presente nas caldas, pode-se calcular o volume de calda em μL , bem como o volume de fungicida em nL depositados por cm^2 das folhas de citros, por regra de três simples.

2.3. AVALIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE COBERTURA POR GOTAS NAS FOLHAS DE CITROS

Antes da pulverização de cada volume de calda, em ambos os experimentos, foram colocados papéis hidrossensíveis, com o auxílio de um grampeador e luvas de procedimento cirúrgico, em uma das duas plantas úteis de cada parcela tratada. Os papéis foram padronizados no tamanho de 25 x 26 mm. Os locais em que foram fixados os papéis corresponderam às mesmas posições amostradas para o depósito de calda.

Uma hora após as pulverizações, os papéis foram recolhidos e acondicionados em sacos de papel para evitar o contato com a umidade do ar. No laboratório, cada papel foi separadamente escaneado na resolução de 600 dpi e tiveram sua imagem analisada no computador com auxílio do programa Quant versão 1.0. (Fernandez Filho – Universidade Federal de Viçosa). Esse software disponibiliza a porcentagem da imagem em que houve molhamento pelas gotas, o

que se caracteriza na porcentagem de cobertura da superfície em função do tratamento.

2.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados das variáveis: depósito de calda, depósito de fungicida e porcentagem de cobertura foram transformados pela expressão $\ln(x+5)$ a fim de estabilizar as variâncias dos resíduos e, posteriormente, submetidos à análise de variância, com as médias de volume comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Nos gráficos foram apresentadas as médias reais sem transformação, porém, com letras indicando diferenças significativas com base na análise dos dados transformados.

Também foi analisado efeito do ponto de amostragem e a interação entre o volume aplicado e o local amostrado na planta de citros, de modo que análises de variância e testes de Tukey ($p < 0,05$) foram aplicados para cada variável. Os resultados de depósito de fungicida foram apresentados em projeções utilizando-se diagramas com tonalidades de cinza a fim de melhor visualizar as diferenças a partir da interação entre o volume aplicado e o ponto amostrado na copa das plantas de citros. Os resultados da variável porcentagem de cobertura foram apresentados por meio de histogramas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. AVALIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE COBERTURA POR GOTAS EM PAPÉIS HIDROSSENSÍVEIS

Houve efeito do volume de aplicação na porcentagem de cobertura nos papéis hidrossensíveis (Figura 4A). No primeiro experimento, os volumes aplicados pelo pulverizador SMART não foram diferentes entre si. Porém, resultaram em médias de cobertura menores em relação ao volume de 1.200 L ha⁻¹ com o pulverizador convencional. Este último resultou em cobertura igual ao volume de 630 L ha⁻¹ e maior em relação ao menor volume de 220 L ha⁻¹ (Figura 4A). Com o pulverizador SMART, o volume de 160 L ha⁻¹ promoveu igual cobertura quando comparado aos 630 L ha⁻¹ (pulverizador convencional), mesmo com o volume de aplicação quase 4 vezes menor.

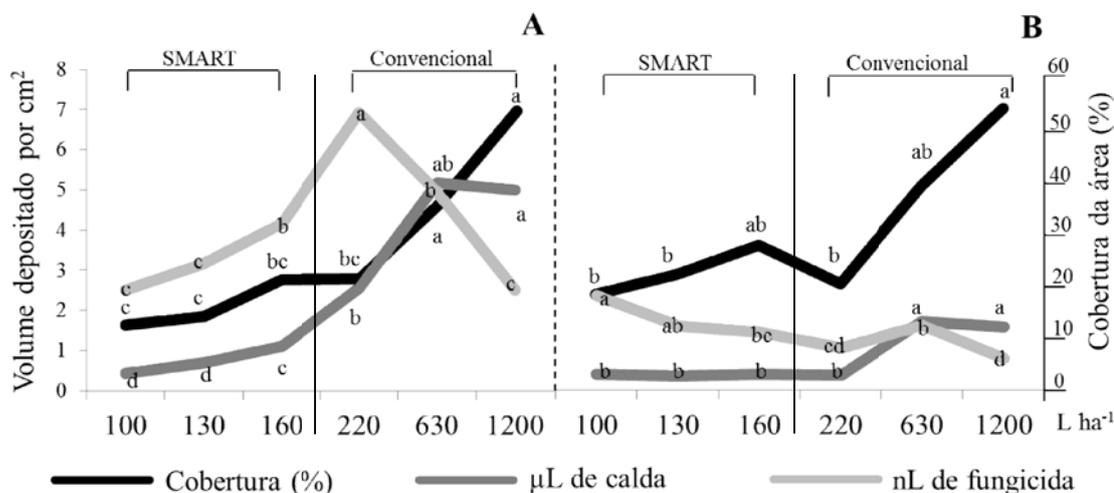


Figura 4. Cobertura, volume de calda e de fungicida depositados nas plantas de citros usando-se diferentes pulverizadores e volumes de aplicação. A. Primeiro experimento. B. Segundo experimento. Tratamentos seguidos por letras minúsculas diferentes na linha da mesma variável no gráfico diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No segundo experimento, o efeito do volume de aplicação não resultou em diferença significativa para a cobertura, comparando-se os volumes com o SMART (160, 130 e 100 L ha⁻¹) e os volumes de 630 e 220 L ha⁻¹, com o pulverizador convencional (Figura 4B).

A maior cobertura foi encontrada com 160 L ha^{-1} , para o SMART, e 1.200 e 630 L ha^{-1} , para o convencional, não havendo diferenças entre esses três volumes. Isso mostra que, utilizando-se o volume de 160 L ha^{-1} , foi possível obter cobertura semelhante à proporcionada pelo volume convencional de 1.200 L ha^{-1} , sendo este sete e meia vezes maior.

Em virtude do menor enfolhamento das plantas, a distribuição das gotas com assistência de ar ocorreu com menor dificuldade para o pulverizador SMART, que, com 160 L ha^{-1} , proporcionou maior cobertura em relação aos 220 L ha^{-1} , sem diferenciar-se dos 1.200 e 630 L ha^{-1} usados no pulverizador convencional.

Com o volume de 160 L ha^{-1} (SMART), foi aplicada calda mais concentrada em óleo mineral em relação aos maiores volumes com o pulverizador convencional, o que pode ter favorecido o espalhamento das gotas e incremento na porcentagem de cobertura no alvo (ANDRADE; FERREIRA; SANTOS, 2010; GASKIN; MANKTELOW; PAK, 2008; VAN ZYL et al., 2010; 2014; XU et al., 2010). Segundo estes autores, o uso do adjuvante aumenta a afinidade entre as gotas depositadas e o alvo, diminuindo seu ângulo de contato e melhorando a cobertura. Além disso, o pulverizador SMART foi montado com bocais acompanhando o formato da copa das plantas, o que favorece a pulverização por melhor direcionar os jatos dos bocais, segundo outros trabalhos em citros (CUNNINGHAM; HARDEN, 1999; CHUECA; GRAFTON-CARDWELL; MOLTÓ, 2009; EBEL; BURNS; MORGAN, 2009) e em outros alvos (DEKEYSER et al., 2014).

Nos dois experimentos, houve efeito do local de amostragem e de sua interação com o volume aplicado sobre a porcentagem de cobertura (Figura 5). De maneira geral, houve maior cobertura nas partes mais externas das plantas, em que todos os volumes com o pulverizador convencional e o volume de 160 L ha^{-1} , com o SMART, mantiveram porcentagens de cobertura acima de 30% em ambos os experimentos. Preconiza-se que coberturas acima de 30% sejam suficientes para a maioria das pulverizações que utilizam gotas finas (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Embora o volume de 1.200 L ha^{-1} tenha resultado em cobertura maior nos pontos externos, do primeiro experimento, não houve diferença entre os seis volumes, no segundo experimento (Figura 5).

Nos pontos entre plantas, maiores coberturas foram encontradas para os maiores volumes de calda aplicados, com porcentagens maiores para os volumes de 1.200 e 630 L ha⁻¹. As menores porcentagens foram encontradas com os volumes de 160 e 100 L ha⁻¹, com o SMART, e 220 L ha⁻¹, com o pulverizador convencional (Figura 5).

A cobertura nos pontos internos da copa das plantas não foi diferente entre os volumes com o SMART e os volumes 1.200 e 630 L ha⁻¹, com o pulverizador convencional (Figuras 5A e 5B). Dessa forma, o aumento no volume de aplicação, variando-se as tecnologias apresentadas neste trabalho, não proporcionou a maior chegada de gotas nas partes internas das plantas de citros.

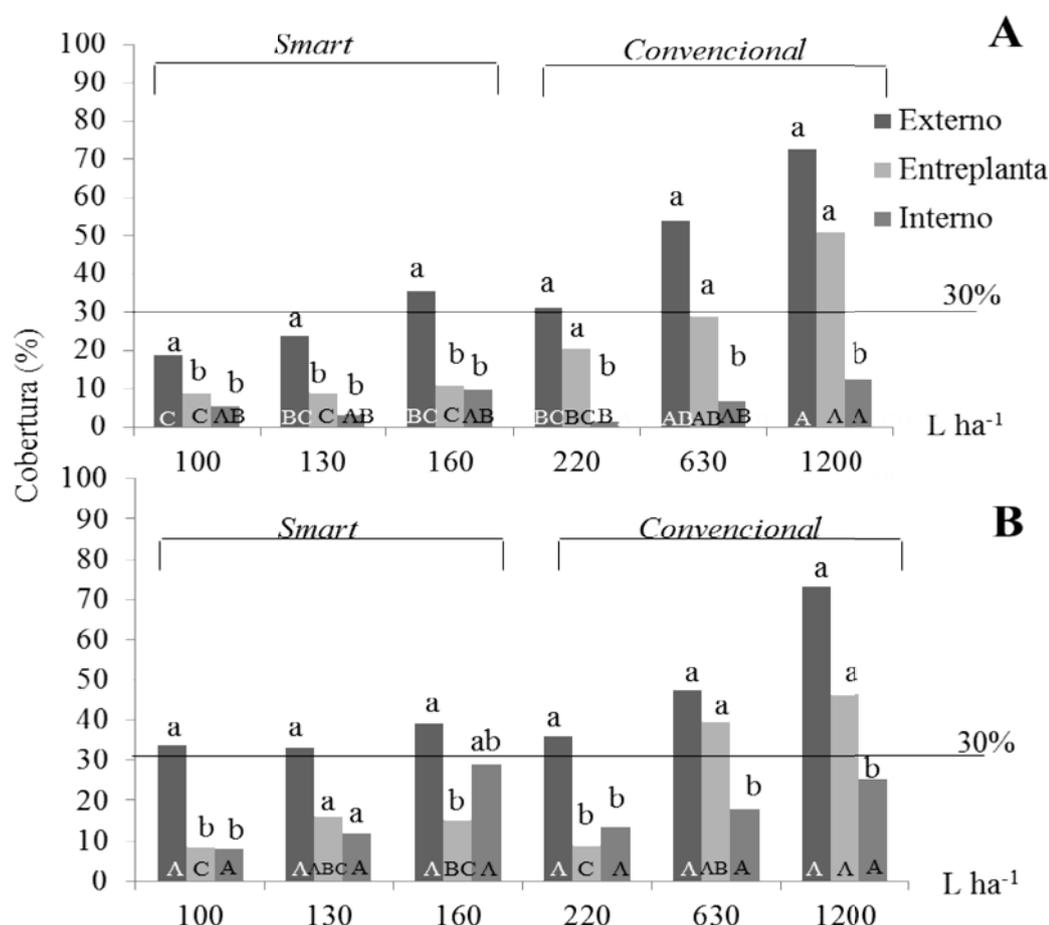


Figura 5. Porcentagem de área coberta por gotas nos pontos externos, entre plantas e internos de plantas de citros em função dos volumes de aplicação. A. Primeiro experimento (2013) (CV=16%). B. Segundo Experimento (2014) (CV=19%). Borborema – SP. Letras minúsculas comparam os pontos no mesmo tratamento enquanto letras maiúsculas comparam um ponto entre os seis volumes de aplicação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Não foram observadas diferenças na porcentagem de cobertura foliar entre os pontos de amostragem alto e baixo nas plantas de citros, com exceção do volume 1.200 L ha⁻¹, que, no segundo experimento teve média maior nos pontos amostrados na parte baixa (Figura 6).

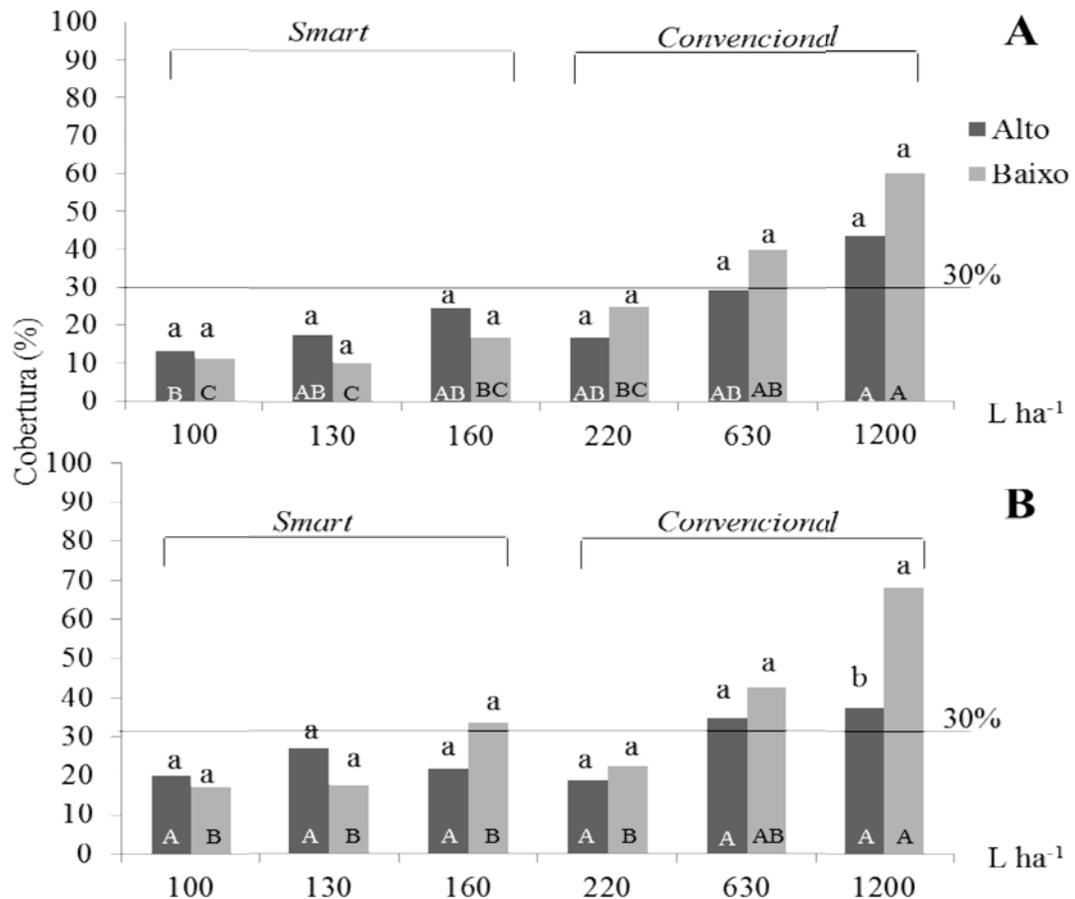


Figura 6. Porcentagem de área coberta por gotas nos pontos altos e baixos de plantas de citros em função dos volumes de aplicação. A. Primeiro experimento (2013) (CV=27%). B. Segundo Experimento (2014) (CV=26%). Borborema – SP. Letras minúsculas comparam os pontos no mesmo tratamento enquanto letras maiúsculas comparam um ponto entre os seis volumes de aplicação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em ambos os experimentos, os volumes 1.200 e 630 L ha⁻¹, com o pulverizador convencional, não diferiram e tiveram coberturas iguais ou maiores que 30%, tanto na parte alta quanto na parte baixa das plantas de citros (Figura 6).

Com exceção de 100 L ha^{-1} , os volumes com o SMART e o convencional não apresentaram diferenças significativas entre si, para a cobertura da parte alta das plantas de citros, nos dois experimentos (Figura 6). Entretanto, quando comparados os pontos na parte baixa das plantas, os volumes de 1.200 e 630 L ha^{-1} , com o pulverizador convencional, resultaram nas maiores coberturas, enquanto o volume de 160 L ha^{-1} , com o SMART, não foi diferente dos volumes de 220 e 630 L ha^{-1} .

3.2. AVALIAÇÃO DO DEPÓSITO DE CALDA FITOSSANITÁRIA EM PLANTAS DE CITROS

Houve efeito dos volumes de aplicação na variável depósito de calda em ambos os experimentos (Figura 4). A aplicação dos maiores volumes de 1.200 e 630 L ha^{-1} , com o pulverizador convencional, resultou nos maiores depósitos de calda.

No primeiro experimento, depósitos de calda menores foram encontrados para os volumes 130 e 100 L ha^{-1} , com o SMART, seguidos pelo seu maior volume de 160 L ha^{-1} e pelo 220 L ha^{-1} , com o pulverizador convencional (Figura 4A).

No segundo experimento, quando as plantas estavam menos enfolhadas, não houve diferença para o depósito de calda obtido entre os volumes do SMART e o volume de 220 L ha^{-1} , com o pulverizador convencional (Figura 4B).

A menor superfície foliar possivelmente influenciou no efeito do volume sobre o depósito de calda. Por haver menor barreira da folhagem mais externa, parte significativa do conteúdo pulverizado atravessou facilmente a barreira externa de folhas da copa das plantas em decorrência da assistência de ar. Esse fenômeno foi mais intenso nos volumes do pulverizador convencional por este gerar maior volume de assistência de ar em relação ao SMART, corroborando com resultados encontrados por Khot et al. (2012). Além disso, quanto menor é o tamanho da gota, mais facilmente esta é carregada, devido à assistência de ar, para fora do dossel (DERKSEN et al., 2007; VELIZ; GADANHA JUNIOR; VÁSQUEZ-CASTRO, 2010). Tal efeito foi mais intenso no volume de 220 L ha^{-1} , o qual produziu o menor diâmetro mediano volumétrico de gotas, $63 \mu\text{m}$ (muito finas), contra 86 e $104 \mu\text{m}$ para os volumes de 630 e 1.200 L ha^{-1} , respectivamente, resultando na menor diminuição de depósito do primeiro para o segundo experimento (Figura 4B).

Reduções no depósito de calda no segundo experimento também foram encontradas para os volumes de 160 e 130 L ha⁻¹, de modo que, igualmente aos volumes do pulverizador convencional, podem ter sido influenciados pela assistência de ar e pelo espectro de gotas finas produzido. Foram pulverizados diâmetros medianos volumétricos de 86, 85 e 87 µm (gotas muito finas) para os volumes de 100, 130 e 160 L ha⁻¹, respectivamente. Além disso, no momento da aplicação dos 160 L ha⁻¹, em alguns blocos, houve ventos forte de 15 km h⁻¹, o que pode ter aumentado momentaneamente a deriva e desfavorecendo o depósito de calda. Essa variação ficou evidente por meio de diferenças significativas a 5% de probabilidade no depósito de calda entre blocos somente no segundo experimento.

Para o SMART, aumentos no volume de aplicação foram conseguidos por meio de diminuições na velocidade de trabalho de 5,14 para 3,9 e para 3,1 km h⁻¹. Menores velocidades podem ter contribuído na diminuição no depósito para os volumes de 130 e 160 L ha⁻¹, no segundo experimento.

Na maior velocidade (5,14 km h⁻¹), com o volume de 100 L ha⁻¹, houve menos fluxo de ar passando pelo dossel, com menor arraste de gotas finas para fora do alvo, havendo maior possibilidade de coalescência das mesmas sobre a superfície foliar, favorecendo o depósito de calda. Em menores velocidades, há maior volume de ar e maior arraste de gotas, o que, provavelmente, diminuiu as médias de depósitos, impedindo que diferenças ocorressem entre os volumes com o pulverizador SMART do primeiro para o segundo experimento. Outros trabalhos trazem resultados similares sobre o efeito da velocidade na pulverização de citros (LARBI; SALYANI, 2012).

Em ambos os experimentos, não houve diferença significativa para a variável depósito de calda quando aumentamos o volume aplicado de 630 para 1.200 L ha⁻¹, com o pulverizador convencional (Figura 4).

A partir dos 630 L ha⁻¹, processos de perda de calda das plantas foram intensificados, de modo a não incrementar o depósito de calda com o maior volume de 1.200 L ha⁻¹. Tais processos se caracterizam por perdas de gotas por ricocheteio e escorrimento para o solo (DEKEYSER et al., 2014; LARBI; SALYANI, 2012). Essa hipótese é sustentada pelas altas médias de cobertura obtidas com 630 e 1.200 L ha⁻¹, no primeiro e segundo experimento, especialmente na folhagem mais externa e

baixa da copa das plantas (Figuras 5 e 6). Em alguns pontos, o papel hidrossensível ficou inteiramente azul, o que representa excesso de calda e possível perda por escorrimento. Além disso, o volume de 1.200 L ha⁻¹, comparativamente aos demais volumes, apresentou gotas de maior diâmetro, que são menos sujeitas a perdas por exoderiva (evaporação e arraste pelo vento) e mais sujeitas à perdas por endoderiva.

3.3. AVALIAÇÃO DO DEPÓSITO DE FUNGICIDA EM PLANTAS DE CITROS

Uma vez que foi fixada a dosagem do produto fitossanitário (L ha⁻¹), quanto menor foi o volume pulverizado, mais concentrada ficou a calda com o fungicida.

No primeiro experimento, houve efeito do volume aplicado, de modo que o maior depósito de fungicida por área foliar foi obtido com 220 L ha⁻¹, utilizando o pulverizador convencional, seguido pelo volume de 160 L ha⁻¹, com o SMART (Figura 4A). Este último teve o mesmo depósito de fungicida encontrado no volume 630 L ha⁻¹.

No segundo experimento também houve efeito dos volumes de aplicação no depósito de fungicida. No entanto, devido aos processos envolvendo o enfolhamento das plantas e depósito de calda anteriormente discutidos, houve redução no conteúdo de fungicida depositado pelo volume de 220 L ha⁻¹, resultando na menor média de depósito de fungicida, juntamente com 1.200 L ha⁻¹, em comparação aos demais volumes aplicados com ambos os pulverizadores (Figura 4B).

Os volumes de 160 (SMART) e 630 L ha⁻¹ (pulverizador convencional) resultaram na segunda maior média de depósito de fungicida nos dois experimentos. Estes dois volumes parecem ser os mais eficientes para os respectivos pulverizadores, uma vez que conseguem manter o padrão de cobertura e depósito de fungicida mesmo com variações na densidade foliar das plantas.

Em ambos os experimentos, o volume de 1.200 L ha⁻¹ para aplicações com o pulverizador convencional, resultou no menores depósitos de fungicida por área foliar. Isso corrobora com vários trabalhos realizados em citros e demais culturas, que demonstram não haver efeito direto do volume de aplicação na eficiência da

deposição do produto fitossanitário (ARAÚJO et al., 2013; GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014; RAMOS et al., 2007; WISE et al., 2010).

O uso de volumes altos de aplicação pode aumentar consideravelmente os processos de perdas por endoderiva e exoderiva, reduzindo a quantidade de produto comercial que chega e permanece no alvo, conforme evidenciado neste trabalho. Além disso, aplicações com menores volumes utilizam caldas mais concentradas com o produto e o adjuvante que podem alterar as propriedades do líquido e proporcionar um rápido espalhamento da gota ao atingir a folhagem das plantas, diminuindo as chances de desprendimento e escorrimento desta gota para solo (XU et al., 2010).

Ao se comparar o volume de 160 L ha^{-1} (SMART), com os convencionais 1.200 L ha^{-1} no pulverizador convencional, este último foi menos eficiente na colocação do fungicida no alvo, em relação aos 160 L ha^{-1} . É importante ressaltar que o pulverizador SMART trabalhou na velocidade de $3,1 \text{ km h}^{-1}$ contra $5,1 \text{ km h}^{-1}$, para o convencional, o que poderia favorecer a uniformidade de deposição do primeiro, já que a aplicação foi feita em menor velocidade. Além da economia com água, há também menor contaminação ambiental visto que maior quantidade de produto permanece no alvo.

Os menores volumes de 100 e 130 L ha^{-1} (SMART) foram os que resultaram nas maiores médias de depósito de fungicida nas plantas menos enfolhadas do segundo experimento (Figura 4B). Portanto, pode-se inferir na necessidade de ajuste do volume de aplicação e também do volume de ar, conforme a característica da copa das plantas.

Na situação de maior enfolhamento, maior volume de líquido e de ar, no limite de 630 L ha^{-1} , significaram melhor depósito no alvo com distribuição melhor ajustada nas posições da copa das plantas. Nas situações de menor enfolhamento, houve melhor distribuição para os volumes menores (Figura 4).

O depósito de fungicida por cm^2 de área foliar foi influenciado pelo efeito dos locais amostrados e pela interação entre volume aplicado e local amostrado na copa das plantas de citros (Tabela 2). O depósito de fungicida foi maior nos pontos externos em relação aos demais.

Tabela 2. Depósito de fungicida em plantas de citros por pulverizadores e volumes aplicados em função dos pontos de amostragem. Borborema – SP, Brasil.

Pulverizador	L ha ⁻¹	Primeiro experimento (2013)				
		Externo	Entreplanta	Interno	Alto	Baixo
SMART	100	3,34 bA ¹	2,29 bAB	1,29 cB	3,00 bcA	1,62 cB
	130	3,39 bA	4,13 abA	0,86 cB	3,83 abcA	1,75 cB
	160	5,47 bA	3,51 bB	2,85 abB	4,74 abA	3,14 bcB
	220	9,58 aA	5,69 aB	4,07 aB	5,10 aB	7,80 aA
Convencional	630	8,15 aA	3,43 bB	1,53 bcC	3,23 bcB	5,51 bA
	1.200	3,75 bA	2,11 bB	0,77 cC	1,82 cA	2,59 cA
CV(%)			9,56		11,93	
DMS(5%) ²			0,20		0,21	
DMS(5%) ³			0,17		0,14	
Erro padrão			0,05		0,05	
Pulverizador	L ha ⁻¹	Segundo experimento (2014)				
		Externo	Entreplanta	Interno	Alto	Baixo
SMART	100	2,75 abA	2,40 aA	1,66 aA	2,61 aA	1,9 aA
	130	1,91 abA	1,50 abA	1,22 aA	1,66 abA	1,42 aA
	160	1,57 abA	1,39 abA	1,36 aA	1,36 abA	1,52 aA
	220	1,53 abA	0,66 bA	0,85 aA	0,92 bA	1,11 aA
Convencional	630	2,51 aA	1,12 abB	0,84 aB	1,46 abA	1,52 aA
	1.200	1,05 bA	0,63 bA	0,56 aA	0,73 bA	0,77 aA
CV(%)			6,44		6,99	
DMS(5%) ²			0,18		0,15	
DMS(5%) ³			0,14		0,10	
Erro Padrão			0,04		0,04	

¹Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na colunas e pelas mesmas letras maiúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Diferenças mínimas significativas para comparação na mesma coluna² e na mesma linha³ consideram as médias dos tratamentos transformadas pela expressão $\ln(x+5)$.

No primeiro experimento, os maiores depósitos de fungicida na parte externa das plantas foram conseguidos com os volumes de 220 e 630 L ha⁻¹, os quais também resultaram nas maiores médias para as alturas superior e inferior das plantas (Tabela 2). No interior das plantas, os maiores depósitos de fungicidas foram conseguidos com os volumes de 220 (convencional) e 160 L ha⁻¹ (SMART).

Os três volumes de aplicação com o SMART resultaram em maior depósito de fungicida na altura superior das plantas em relação à inferior (Tabela 2). Outros trabalhos mostraram o mesmo desempenho de pulverizações feitas com equipamentos similares na cultura do café (DECARO JUNIOR et al., 2014).

No segundo experimento, todos os volumes resultaram em iguais depósitos de fungicida na parte externa das plantas, com exceção do maior volume de 1.200 L ha⁻¹, que obteve média menor (Tabela 2). Os volumes de 1.200 e 220 L ha⁻¹ resultaram nos menores depósitos na posição entre plantas. Não houve diferenciação entre os volumes com relação ao depósito de fungicida nos pontos internos das plantas.

Considerando ambos os experimentos realizados, o pulverizador SMART conseguiu associar bons depósitos de fungicida, juntamente com boa uniformidade de distribuição (Tabela 2). Da mesma forma, o pulverizador convencional aplicando o volume de 630 L ha⁻¹ obteve melhor performance em relação aos demais volumes. O volume convencional de 1.200 L ha⁻¹ resultou em baixa qualidade da pulverização, tanto para a quantidade de fungicida depositado quanto para sua uniformidade de distribuição.

Em virtude da arquitetura das plantas de citros, grande parte do volume pulverizado fica retido na folhagem mais externa, enquanto uma menor parte consegue atingir o interior da copa (GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014; LARBI; SALYANI, 2012; VELIZ; GADANHA JUNIOR; VÁSQUEZ-CASTRO, 2010). Por esse motivo, muitas aplicações preconizam volumes altos visando compensar esse problema e depositar quantidades suficientes de calda no interior da copa das plantas para que se obtenha o controle fitossanitário desejado, mesmo que haja excesso de calda e escorrimento nos pontos mais externos da planta.

Neste experimento, observa-se que mudanças na tecnologia de aplicação, como adaptações do pulverizador ao dossel das plantas, mudanças na velocidade de trabalho e variação do tipo e vazão dos bocais podem contribuir para amenizar os problemas da baixa uniformidade de deposição nas plantas sem a necessidade de aplicar volumes altos. Estes aumentam os custos da operação e os riscos de contaminação ambiental (CUNHA et al., 2012; DECARO JUNIOR et al., 2014).

Outros trabalhos mostram o mesmo comportamento para pulverizadores com características iguais às do convencional usado neste trabalho, aplicando volumes iguais e maiores que 1.000 L ha⁻¹ em plantas de citros (CUNNINGHAM; HARDEN, 1998; 1999; GARCERÁ; MOLTÓ; CHUECA, 2014).

Já é correlatado que há a possibilidade de reduzir os volumes aplicados na cultura dos citros, melhorar a capacidade operacional do tratamento, com igual ou superior controle fitossanitário (ARAÚJO et al., 2013; RAMOS et al., 2007). Entretanto, deve-se considerar fatores como a densidade foliar das plantas, sua arquitetura, condições meteorológicas no momento da aplicação, o uso de adjuvantes, o modo de ação do produto utilizado e o comportamento do inseto-praga ou do patógeno no que se refere ao local da planta a ser pulverizado (ANDRADE; FERREIRA; SANTOS, 2010; VAN ZYL et al., 2010).

É importante ressaltar que a condição mais frequente é aquela de maior enfolhamento encontrada no primeiro experimento (2013). Assim, há a necessidade de implementações no pulverizador SMART, talvez aumentando o volume de ar e pequeno incremento no volume de aplicação.

Havendo a possibilidade de pulverizar os dois lados da planta e trabalhar com velocidade igual ao convencional, o SMART poderá melhorar o rendimento das aplicações, diminuir o consumo de água na propriedade e melhorar a quantidade de produto fitossanitário depositado no alvo, evitando contaminações do ambiente.

4. CONCLUSÃO

O volume de 630 L ha⁻¹, no pulverizador convencional, e o volume de 160 L ha⁻¹, com o pulverizador SMART, podem ser adotados para o controle de patógenos, em plantas de citros, com igual cobertura e maior volume de fungicida depositado nas folhas em relação ao volume de 1.200 L ha⁻¹ convencionalmente praticado.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. J.; FERREIRA, M. C.; FENOLIO, L. G. Compatibility between acaricides and foliar fertilizers in different water resources for citrus leprosis mite control *Brevipalpus phoenicis*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2013.
- ANDRADE, D. J.; FERREIRA, M. C.; SANTOS, N. C. Effect of the addition of oil to cyhexatin miticide on mite *Brevipalpus phoenicis* and in spray liquid retention on citrus leaves. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1055–1063, 2010.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineering. 2004. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph: ASAE, p. 411-14. (ASAE Standard S572 FEB04).
- ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G.; RAMOS, H. H.; SPÓSITO, M. B.; PRADO, E. P. Interference of spray volume reduction in citrus black spot (*Guignardia citricarpa* Kiely) control in 'Valência' citrus fruits. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 172–179, 2013.
- CHUECA, P.; GRAFTON-CARDWELL, E. E.; MOLTÓ, E. Influence of Spray Equipment and Water Volume on Coverage of Citrus and Control of Citricola Scale, *Coccus pseudomagnoliarum* (Hemiptera: Coccidae) With Mineral Oil. **Horticultural Entomology**, v. 102, n. 1, p. 298 – 303, 2009.
- CUNHA, J. P.; CHUECA, P.; GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. **Crop Protection**, v. 42, p. 116 – 123, 2012.
- CUNNINGHAM, G. P.; HARDEN, J. Reducing spray volumes applied to mature citrus trees. **Crop Protection**, v. 17, n. 4, p. 289 – 292, 1998.
- CUNNINGHAM, G.P.; HARDEN, J. Sprayers to reduce spray volumes in mature citrus trees. **Crop Protection**, v. 18, p. 275 – 281, 1999.
- DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantation. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 415 – 422, 2014.
- DEKEYSER, D.; FOQUÉ, D.; DUGA, A. T.; VERBOVEN, P.; HENDRICKX, N.; NUYTENS, D. Spray deposition assessment using different application techniques in artificial orchard trees. **Crop Protection**, v. 64, p. 187-197, 2014.
- DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 5, p. 1493 – 1501, 2007.

EBEL, R. C.; BURNS, J. K.; MORGAN, K. T. Spray Volume, Distribution, and Efficacy of 5-Chloro-3-methyl-4-nitro-1H-pyrazole for Loosening Sweet Orange. **HortScience**, v. 44, n. 7, p. 1895 – 1899, 2009.

FOURIE, P. H.; DU PREEZ, M.; BRINK, J. C.; SCHUTTE, T. The effect of run-off on spray deposition and control of *Alternaria* brown spot of citrus. **Australasian Plant Pathology**, n. 38, p. 173 – 182, 2009.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Factors influencing the efficacy of two organophosphate insecticides in controlling California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell). A basis for reducing spray application volume in Mediterranean conditions. **Pest Management Science**, v. 70, p. 28 – 38, 2014.

GASKIN, R. E.; MANKTELOW, D. W. L.; PAK, H. Improving spray distribution and coverage on avocado trees in low volume, concentrate sprays. **Neo Zealand Plant Protection**, v. 61, p. 147 – 152, 2008.

KHOT, L. R.; EHSANI, R.; ALBRIGO, G.; LARBI, P. A.; LANDERS, A.; CAMPOY, J.; WELLINGTON, C. Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and deposition assessments in small sized citrus canopies. **Biosystems Engineering**, v. 113, p. 76 – 85, 2012.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 cm x 200 cm.

KUPPER, K. C.; CORRÊA, F. E.; AZEVEDO, F. A.; SILVA, A. C. *Bacillus subtilis* to biological control of postbloom fruit drop caused by *Colletotrichum acutatum* under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 134, p. 139-143, 2012.

LARBI, P. A.; SALYANI, M. Model to predict spray deposition in Citrus airblast sprayer applications: part 2. Spray deposition. **Transactions of the ASABE**, v. 55, p. 41 – 48, 2012.

LASMAR, O.; FERREIRA, M. C.; DECARO JUNIOR, S. T.; LORENÇON, J. R. Droplet size of pneumatic spraying nozzles used for the control of coffee pests. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 441 – 444, 2014.

MARTINI, X.; KINCY, N.; NANSEN, C. Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behavior on contact pesticide performance. **Pest Management Science**, v. 68, p. 1471-1477, 2012.

MINGUELA, J.V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010, v. 1. 588p.

OLIVEIRA, M. L.; MACHADO-NETO, J. G. Use of tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in safety of pesticide applicators in citrus orchards. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 70, n. 3, p. 415-421, 2003.

RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORRÊA, I. M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Effect of carrier volume applied with a airblast sprayer on spray characteristics in citrus. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 56 – 65, 2007.

VAN ZYL, J. G.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; FOURIE, P. H. Effects of adjuvants on deposition efficiency of fenhexamid sprays applied to Chardonnay grapevine foliage. **Crop Protection**, v. 29, p. 843 – 852, 2010.

VAN ZYL, J. G.; SIEVERDING, E. G.; VILJOEN, D. J.; FOURIE, P. H. Evaluation of two organosilicone adjuvants at reduced foliar spray volumes in South African citrus orchards of different canopy densities. **Crop Protection**, v. 64, p. 198-206, 2014.

VELIZ, R. C.; GADANHA JUNIOR, C. D.; VÁSQUEZ-CASTRO, J. A. Effectiveness of two systems for the spraying of pesticides in citrus trees. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 36, n. 2, p. 217 – 222, 2010.

VOLL, C. E.; VÁSQUEZ-CASTRO, J. A.; GADANHA JUNIOR, C. D.; LINO, P. L. Volumetric distribution of the spray nozzle XR11003. **Revista Peruana de Entomología**, v. 45, p. 95 – 99, 2006.

WISE, J. C.; JENKINS, P. E.; SCHILDER, A. M. C.; VANDERVOORT, C.; ISAACS, R. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes. **Crop Protection**, v. 29, p. 378-385, 2010.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, v. 106, p. 58 – 67, 2010.

CAPÍTULO 3. TAMANHO DE GOTAS PRODUZIDAS POR UM BOCAL EFERVESCENTE USANDO DIFERENTES ADJUVANTES NA CALDA E COMBINAÇÕES DE PRESSÃO E VAZÃO

RESUMO - O presente trabalho avaliou o espectro de tamanho de gotas produzidas por um bocal efervescente, usando caldas contendo adjuvantes, em diferentes concentrações, e variações na pressão de trabalho e na vazão. Um primeiro experimento utilizou caldas contendo água mais 0, 1, 6, 11 e 21% de um adjuvante óleo mineral. Um segundo experimento utilizou caldas contendo os adjuvantes fosfatidilcolina e heptametiltrisiloxano, na dosagem recomendada em bula e em dosagem dez vezes maior, totalizando quatro caldas, mais uma calda representada por água. Em ambos os experimentos, o bocal utilizou duas configurações de pressões para calda/ar de 49/34 e 59/44 kPa, juntamente com dois diâmetros de dosadores de vazão, 0,7 e 0,8 mm. O delineamento dos experimentos foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 (caldas) x 2 (pressões) x 2 (dosadores), em quatro repetições. As pulverizações foram feitas em equipamento medidor do tamanho de partículas a laser. As variáveis analisadas durante a pulverização foram o diâmetro volumétrico de gotas de 10, 50 e 90% do volume, coeficiente de uniformidade e porcentagem de gotas menores que 100 e 50 μm . Os resultados, em cada experimento, foram submetidos ao teste ANOVA, com médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). De acordo com os resultados, o bocal produziu gotas classificadas como muito finas. O óleo mineral, a partir da concentração de 11%, aumentou significativamente o tamanho das gotas. A adição de fosfatidilcolina, em ambas as doses, diminuiu significativamente o tamanho das gotas e a amplitude relativa, ao passo que o inverso foi observado para o adjuvante heptametiltrisiloxano, na dose recomendada. O uso do dosador 0,7 mm no bocal efervescente deve ser priorizado em pulverizações em que não se sabe qual é o efeito da calda no tamanho das gotas pulverizadas. Com esse dosador, há pouca variação no diâmetro de gotas em função dos adjuvantes, quando comparamos ao efeito dos mesmos no dosador 0,8 mm, independente das pressões utilizadas. A vazão do bocal é mais influenciada pelo o tamanho do orifício do dosador, em relação ao conjunto de pressão calda/ar.

Palavras-chave: espectro de gotas, pulverização, tecnologia de aplicação

CHAPTER 3. SIZE OF DROPLETS PRODUCED BY AN EFFERVESCENT NOZZLE USING DIFFERENT ADJUVANTS IN THE SPRAYING LIQUID AND COMBINATIONS OF PRESSURE AND OUTFLOW

ABSTRACT - The present work evaluated the spectra of droplets produced by an effervescent nozzle, using spraying liquids containing adjuvants, in different concentrations, and variations of work pressure and outflow. A first experiment utilized spraying liquids with water mixed with 0, 1, 6, 11 and 21% of an adjuvant mineral oil. A second experiment utilized spraying liquids mixed with the adjuvants phosphatidylcholine and heptamethyltrisiloxane, on recommended dosage according the its label and ten times higher, totalizing four spraying liquids, and a control represented by water. In both experiments, the nozzle used two configurations of liquid/air pressure of 49/34 and 59/44 kPa, as well as two diameters of outflow restrictors, 0.7 and 0.8 mm. The experiments design was completely randomized in factorial 5 (spraying liquids) x 2 (pressures) x 2 (restrictors), in four replications. The sprays were performed in laser equipment measurer of particles size. The analyzed variables in the spray were volumetric median diameter of droplets on 10, 50 and 90% of volume, coefficient of uniformity and percentage of droplets smaller than 100 and 50 μm . The results, on each experiment, were subjected to ANOVA's test, with averages compared by Tukey test ($p < 0.05$). According to the results, the nozzle produced droplets classified as very fines. The mineral oil, from the concentration of 11%, significantly increased the droplets size. The addition of phosphatidylcholine, in both the dosages, significantly decreased the droplets size and the uniformity coefficient, whilst the opposite was observed for the adjuvant heptamethyltrisiloxane, on the recommended dosage. The restrictor 0.7 mm in the effervescent nozzle may be prioritized in sprays when the effect of the spraying liquid on the droplet size is unknown. With this restrictor, there is few variation on the droplets size as a function of the adjuvants, in comparison to the effect with the restrictor 0.8 mm, independent from the pressures used. The nozzle outflow is more influenced by the restrictor size than the liquid/air pressure.

Key words: droplet spectra, spray, application technology

1. INTRODUÇÃO

Os bocais para uso agrícola equipados em pulverizadores variam conforme o tipo de energia empregada na produção das gotas, a partir de energia hidráulica, centrífuga, pneumática, elétrica, cinética ou combinações entre estas, com diferentes espectros de tamanho de gotas produzido (MATUO, 1990; MINGUELA; CUNHA, 2010; CUNHA; BUENO, 2010; FERREIRA; MILLER; TUCK, 2010; OLIVEIRA; FERREIRA; ROMÁN, 2010). Mesmo entre bocais que usam a mesma energia, há modelos que se distinguem significativamente com relação ao tamanho das gotas produzidas e a outras características do jato produzido (FERREIRA; MILLER; TUCK, 2010; FERREIRA et al., 2011). Vale ressaltar que o bico é um termo que se refere à união entre capa, anel de vedação, filtro e a ponta, propriamente dita, conforme encontrado na maioria dos pulverizadores agrícolas (MATUO, 1990).

O ajuste do tamanho ideal de gotas é fator decisivo no sucesso da aplicação visando à correta chegada e permanência do produto fitossanitário no alvo (MATUO, 1990; DERKSEN et al., 2007). Para isso, torna-se imprescindível a escolha do bocal adequado, conhecendo sua classificação quanto à classe de gotas produzidas (BCPC, 1999; ASAE, 2004).

As informações sobre o tamanho de gotas disponibilizadas pelos fabricantes de bocais geralmente referem-se ao diâmetro mediano volumétrico (DMV) do espectro total produzido. Quanto menor for a amplitude de diâmetros produzida por um bocal, mais uniforme é o espectro de gotas, o que permite utilizá-lo em modalidades de aplicação que usam volumes reduzidos de calda, diminuindo os custos da operação e aumentando seu rendimento (VOLL et al., 2006).

De maneira geral, a maioria dos bocais e seus respectivos modelos sofrem alterações no espectro de gotas devido a mudanças no modelo, no tamanho do orifício de vazão, pressão de trabalho e pelo uso de adjuvantes em mistura na calda fitossanitária (FERREIRA et al., 2007; LASMAR et al., 2014; MADUREIRA; RAETANO; CAVALIERI, 2015).

Os adjuvantes compreendem uma gama de produtos como óleo mineral e vegetal, surfatantes, redutores de pH, redutores de deriva, entre outros, que são capazes de modificar características físicas da calda e, dependendo do bocal,

podem aumentar ou diminuir o tamanho das gotas (LAN et al., 2007; SPANOGHE et al., 2007; OLIVEIRA, 2011; GANDOLFO et al., 2013). Assim, quanto menor o tamanho da gota produzida, melhor é a cobertura proporcionada na aplicação, ao passo que se o adjuvante proporciona aumentos no diâmetro, menores serão as perdas de gotas de menor tamanho por deriva (MATUO, 1990).

Informações como a porcentagem de gotas menores que 100 μm e amplitude relativa do espectro de gotas pulverizadas pelos bocais são escassas e poderiam orientar melhor as aplicações a campo a respeito de perdas por deriva e ajuste do volume de aplicação, bem como o uso do adjuvante que melhor auxilia na produção do tamanho de gota ideal para determinada atividade (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007; OLIVEIRA; FERREIRA; ROMÁN, 2010).

A interação entre bocal, pressão, vazão e adjuvante resulta em mudanças no tamanho de gotas que variam para cada bocal e exige novos trabalhos sempre que um novo modelo de bocal é produzido visando sua utilização em pulverizações.

Quando do surgimento de novas tecnologias em bicos de pulverização, espera-se obter gotas grossas ou finas, a depender de características intrínsecas de cada tipo e modelo, e da finalidade a que se destina, e, ainda mais importante, que as gotas sejam de tamanho o mais uniforme possível.

Algumas tecnologias migram de áreas do conhecimento para a agricultura, como é o caso da tecnologia efervescente para bocais de pulverização. Este se caracteriza como um tipo híbrido de bocal que utiliza a energia hidráulica para pressurizar a calda e leva-la até o orifício de vazão, ao mesmo tempo em que utiliza a energia gasosa, provida por ar comprimido para auxiliar no cisalhamento das gotas. No entanto, não há trabalhos envolvendo este tipo de bocal na agricultura, no que diz respeito a pulverizações. Igualmente, não há informações quanto as influências no tamanho e uniformidade de gotas a partir de variações das condições de trabalho para esse bocal e de caldas fitossanitárias comumente utilizadas a campo.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o tamanho de gotas produzidas por um bocal efervescente, usando adjuvantes adicionados à calda e variações na pressão e vazão, por meio da técnica de difração a laser.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No Laboratório de Análise do Tamanho de Partículas – LAPAR, pertencente ao Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, da FCAV, UNESP de Jaboticabal – SP, foram realizadas medições do tamanho de gotas produzidas por um protótipo de bocal pertencente à empresa PulsFog Pulverizadores Ltda (Figura 1).

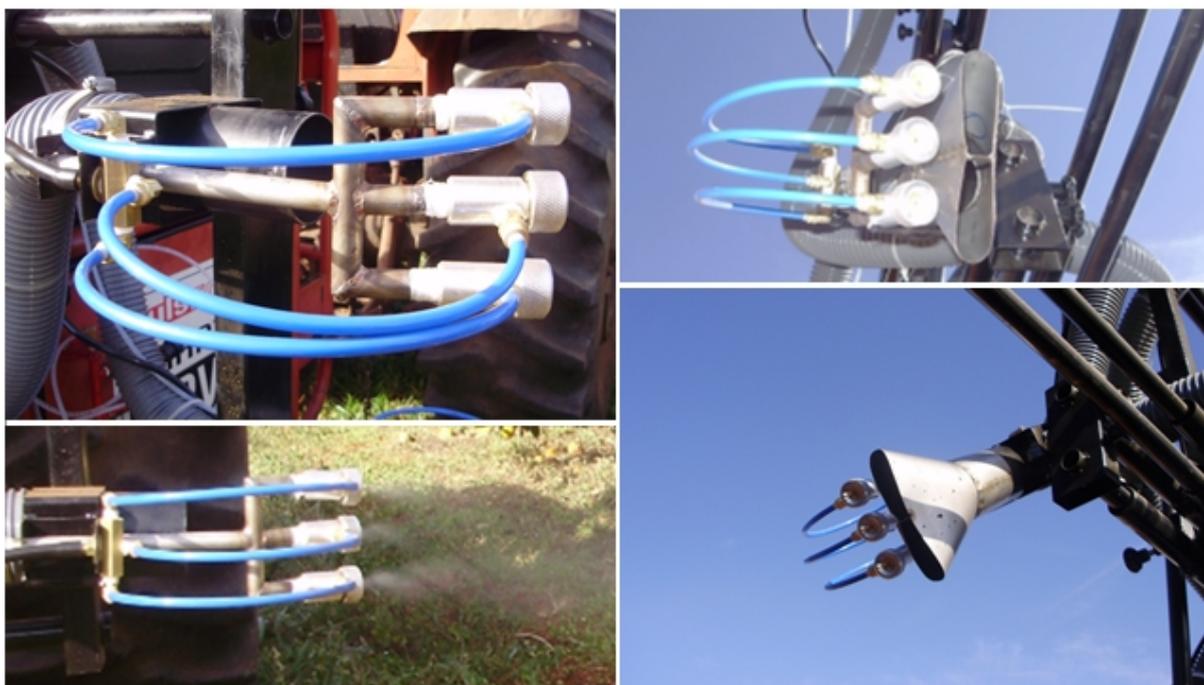


Figura 1. Fotos em diferentes ângulos do bocal pneumático sendo utilizado a campo para aplicação em pomar de citros. Borborema – SP, Brasil, 2013.

As análises foram feitas com o auxílio de um analisador de partículas por difração de raios laser, equipamento Mastersizer S[®], versão 2.19, utilizando-se uma lente de 300 mm, com amplitude de medições entre 0,5 a 900 μm de diâmetro para as gotas (Figura 2A). Estas foram pulverizadas na forma de jato cônico cheio no sentido horizontal e a 30 cm de distância da projeção do laser do equipamento (Figura 2B). Pelo choque com as gotas, há um desvio na trajetória do laser que é detectado em sensores do equipamento e interpretado quanto ao ângulo do desvio, fornecendo informações do espectro de gotas produzido pelo bocal. Quanto maior é o ângulo, menor é o diâmetro da gota (ETHERIDGE; WOMAC; MUELLER, 1999).

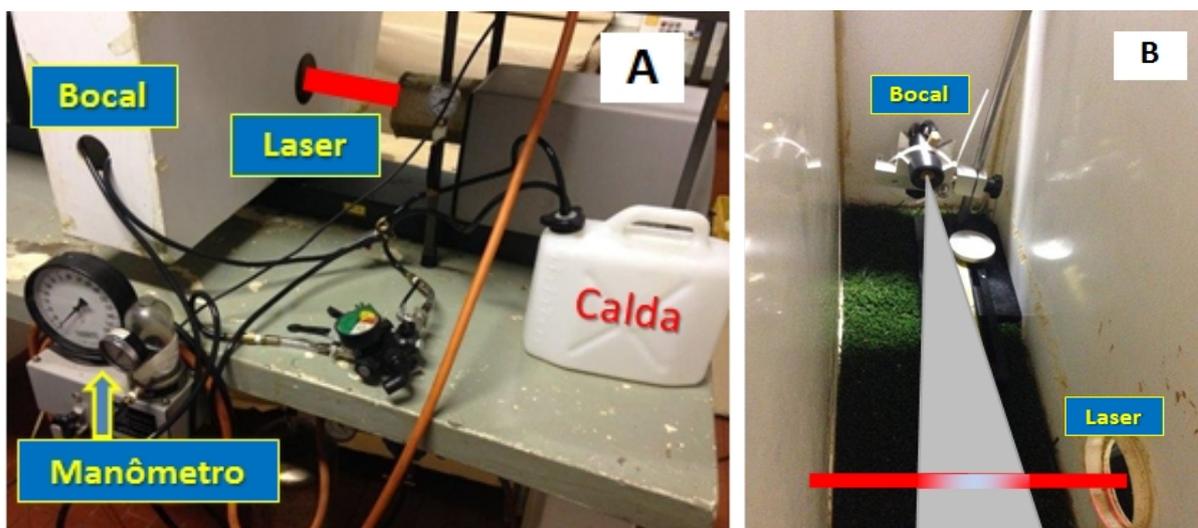


Figura 2. A. Equipamento Mastersizer S[®], versão 2.19, para medição do espectro de gotas pulverizadas pelo bocal efervescente. B. Disposição do bocal efervescente para a medição do espectro de gotas, com ilustrações do jato e do feixe de laser produzidos.

O bocal utilizado no experimento é caracterizado como efervescente e produz o jato de pulverização por pressurização da calda e de ar, para a formação das gotas. Por se tratar de um modelo ainda em fase de estudo, maiores informações sobre sua estrutura não puderam ser colocadas no texto, por acordo de sigilo com o fabricante.

As pulverizações foram com caldas pressurizadas a 49 e 59 kPa e injeção de ar nas pressões de 34 e 44 kPa, respectivamente, por meio de um compressor de ar, alimentando o sistema sem oscilar a pressão. Dois dosadores foram usados para controle da vazão do bocal, com orifício de 0,7 e 0,8 mm em diâmetro. Dessa forma, combinações entre as pressões e os dosadores foram adotadas para a verificação de modificações no tamanho de gotas produzidas com diferentes caldas fitossanitárias.

No primeiro experimento, caldas contendo água em mistura com óleo mineral (Argenfrut[®]), nas concentrações de 0, 1, 6, 11 e 21% do volume ($v v^{-1}$), foram pulverizadas pelo bocal para a análise do tamanho de gotas, usando-se as pressões de calda/ar de 49/34 e 59/44 kPa e os dosadores de 0,7 e 0,8 mm. A concentração de 1% ($v v^{-1}$) foi tomada por ser uma dosagem usual em pulverizações que utilizam gotas finas, enquanto os tratamentos de 6, 11 e 21% ($v v^{-1}$) consideraram caldas

aplicadas a partir de reduções no volume de aplicação, que empregam altas concentrações de produtos. O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 5 x 2 x 2, em quatro repetições. O óleo mineral foi escolhido pelo seu efeito no aumento do diâmetro de gotas em bocais que usam diferentes tipos de energia, o que proporciona proteção às gotas contra processos de perda por deriva (WODAGENEH; MATTHEWS, 1981; LASMAR et al., 2014).

No segundo experimento, foram utilizadas caldas contendo água em combinação com o adjuvante heptametiltrisiloxano (Silwet L-77 Ag[®] – Momentive), nas concentrações de 0,1 e 1% v v⁻¹, e com o adjuvante fosfatidilcoline + ácido propiônico (LI 700[®] – De Sangosse), nas concentrações de 5 e 50 mL L⁻¹. Ambos os adjuvantes foram usados, seguindo-se suas respectivas bulas, com a dose recomendada e dose dez vezes maior. Esse aumento considera o uso do bocal em aplicações com volumes reduzidos e caldas fitossanitárias mais concentradas, mantendo-se a dosagem do adjuvante na área. Uma quinta calda contendo somente água foi usada como controle. Todas as caldas foram pulverizadas por meio do bocal efervescente, nas pressões de 49/34 e 59/44 kPa e com os dosadores de 0,7 e 0,8 mm, para a análise de tamanho de gotas produzidas. O experimento teve delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 5 x 2 x 2, em quatro repetições.

Os adjuvantes foram escolhidos por possuírem características distintas em relação ao óleo. De acordo com a bula dos produtos, o heptametiltrisiloxano é promotor de molhamento e possui maior efeito surfatante, enquanto o fosfatidilcoline é caracterizado como surfatante/acidificante. Ambos os adjuvantes são amplamente utilizados na agricultura para pulverizações em diferentes culturas, oferecendo boa representatividade dos resultados obtidos com o bocal efervescente.

As pulverizações de ambos os experimentos foram feitas usando-se um recipiente de 5 L de capacidade, com a calda e a injeção de ar pressurizadas por meio de um compressor, de modo que a pressão foi constantemente aferida em manômetro graduado de 0 a 1.034 kPa. Durante as leituras, a temperatura ambiente foi de 23,4°C e a umidade relativa do ar de 63%, mantendo-se constante.

Acima do local de pulverização no laser, há um exaustor para aspirar as gotas que ficavam suspensas no ar após o término de cada tratamento pulverizado. Dessa

forma, evitou-se a releitura de gotas de tratamentos anteriores e também a deposição dessas sobre a lente do aparelho, que pode obstruir a passagem correta do laser e comprometer a exatidão da leitura (FERREIRA et al., 2007).

As variáveis avaliadas na leitura foram o diâmetro mediano volumétrico, representado pelo diâmetro de gotas (μm) que separa 50% do volume de calda pulverizado (DMV), bem como os diâmetros de gotas que separam 10 [Dv(0,1)] e 90 % [Dv(0,9)] do volume pulverizado. A uniformidade no diâmetro das gotas (SPAN) foi avaliada, representada pelo coeficiente de uniformidade do espectro, obtida por meio da expressão: $[Dv(0,9) - Dv(0,1)] / DMV$ (FERREIRA et al., 2007). Também foram avaliadas as porcentagens de volume pulverizadas por gotas de até 50 [%V(50 μm)] e 100 μm [%V(100 μm)] de diâmetro.

Todas as variáveis foram analisadas nos dois experimentos e comparadas por meio da análise de variância e pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foram mensurados os valores de tensão superficial (mN m^{-1}) das caldas usadas no experimento por meio de equipamento tensiômetro OCA (DataPhysics[®]), conforme metodologia descrita por Decaro Junior et al. (2014), usando-se gotas pendentes e utilizando o valor da leitura aos 30 segundos, em que a tensão se estabiliza. A temperatura durante as leituras variou entre 21 e 23°C.

Também foram mensurados os valores de viscosidade das caldas (em mPa s) por meio de equipamento viscosímetro (Alemmar[®]) equipado com rotor “zero” (6.0), na rotação de 100 rpm. As leituras foram feitas na temperatura constante de 21°C, no Laboratório de Ecotoxicologia dos Agrotóxicos e Saúde Ocupacional.

Os valores de viscosidade e tensão superficial foram utilizados para auxiliar na discussão das variações no espectro de gotas produzido, por serem consideradas variáveis importantes (SANDERSON et al., 1997; MACMULLAN, 2000; OLIVEIRA, 2011).

A vazão no bocal foi aferida, coletando-se o volume pulverizado durante 60 segundos, com auxílio de provetas graduadas de 500 mL, para a calda representada pela água, nas mesmas combinações entre pressão e dosador utilizados nas pulverizações. Os resultados foram representados na forma de gráficos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DO USO DE ÓLEO MINERAL EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NA CALDA

Houve efeito significativo do uso do adjuvante óleo mineral no diâmetro das gotas produzidas pelo bocal efervescente, de modo que as maiores concentrações de 11 e 21% resultaram nos maiores valores de DMV de 83,2 e 84,8 μm , respectivamente, em relação à água, com 79,2 μm (Tabela 1).

As gotas de menor diâmetro no espectro pulverizado, representadas pela variável $Dv(0,1)$ aumentaram significativamente seu tamanho quando da adição do óleo nas concentrações de 11 e 21% (Tabela 1). No entanto, as gotas de maior diâmetro, representadas pela variável $Dv(0,9)$ não foram influenciadas pela adição do adjuvante a 11 e 21% do volume da calda, não diferindo significativamente do controle (água). Isso mostra o efeito do óleo no aumento do diâmetro de gotas, que em uma situação a campo, seria importante na redução de perdas por deriva de gotas pulverizadas.

Tabela 1. Médias do diâmetro de gotas produzidas pelo bocal efervescente no primeiro experimento variando-se concentrações de óleo mineral na calda, pressões de trabalho e diâmetro do dosador. Jaboticabal-SP, 2014.

Calda	$Dv(0,1)$	DMV	$Dv(0,9)$	SPAN	%V(100 μm)	%V(50 μm)
1%	28,11 b ¹	79,45 b	192,14 a	2,05 a	62,81 b	28,07 b
6%	26,11 c	72,45 c	163,87 b	1,89 c	68,71 a	31,19 a
11%	30,23 a	83,20 a	199,24 a	2,01 ab	61,04 c	25,15 c
21%	30,25 a	84,78 a	199,75 a	1,98 b	59,90 c	24,57 c
Água	28,12 b	79,15 b	191,45 a	2,05 a	62,96 b	27,37 b
Erro padrão	0,18	0,56	2,20	0,02	0,42	0,36
DMS (5%)	0,71	2,25	8,75	0,07	1,67	1,45
CV (%)	2,49	2,83	4,65	3,65	2,66	5,34
Pressão e dosador	$Dv(0,1)$	DMV	$Dv(0,9)$	SPAN	%V(100 μm)	%V(50 μm)
49/34 kPa	30,38 a ¹	86,70 a	215,41 a	2,13 a	57,78 b	24,18 b
59/44 kPa	26,75 b	72,91 b	163,17 b	1,87 b	68,39 a	30,36 a
0,7 mm	28,32 b ¹	78,15 b	182,90 b	1,96 b	64,26 a	27,62 a
0,8 mm	28,81 a	81,46 a	195,68 a	2,03 a	61,92 b	26,92 b
Erro padrão	0,11	0,36	1,39	0,01	0,26	0,23
DMS (5%)	0,32	1,01	3,93	0,03	0,75	0,65
CV (%)	2,49	2,83	4,65	3,65	2,66	5,34

¹Médias seguidas por letras minúscula diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Dentre as concentrações de óleo utilizadas na calda, somente a de 1% não resultou em nenhuma diferença significativa em relação ao controle (água), para as variáveis $Dv(0,1)$, DMV e $Dv(0,9)$ (Tabela 1).

Na concentração de 6% de óleo mineral, as gotas tiveram seu diâmetro significativamente reduzido, com efeito nas gotas menores e, com mais intensidade, nas maiores, o que refletiu em diminuição significativa na variável SPAN, em comparação às outras caldas pulverizadas pelo bocal (Tabela 1). Essa variável indica a uniformidade no diâmetro de gotas, de modo que, quanto mais próximo de zero, menor será a variação de diâmetro em relação ao DMV. Essa uniformidade é importante, pois possibilita que aplicações sejam feitas com gotas de diâmetro mais próximo do ideal, sem que haja gotas muito pequenas nem muito grossas, uma vez que estas podem se perder por deriva e por escorrimento, respectivamente (LEFEVBRE, 1989; NUYTTENS et al., 2007).

O uso de adjuvantes à base de óleo mineral ou vegetal em trabalhos com outros bocais aumentou o diâmetro das gotas produzidas e diminuiu o potencial de deriva, igualmente ao observado no presente trabalho, conforme as diferentes variáveis verificadas em relação ao tamanho de gotas (OLIVEIRA, 2011; CHECHETTO et al., 2013; FERREIRA et al., 2013; SASAKI et al., 2013; MADUREIRA; RAETANO; CAVALIERI, 2015).

A maior concentração de óleo (21% v v⁻¹) também reduziu significativamente o valor de SPAN das gotas em relação ao controle água, por aumentar o tamanho das gotas de menor diâmetro, diferentemente da calda com 6%, que conseguiu melhorar a uniformidade do espectro por diminuir mais intensamente o diâmetro das gotas maiores. Por mínima que seja a redução no valor de SPAN do bocal, mais perto do ideal está o conjunto de gotas, pensando em pulverizações que requerem gotas finas e muito finas. Um diâmetro de gota é considerado ideal quando este não é tão pequeno, que possa resultar em deriva de gotas, ou tão grande, que possa levar as gotas a acumularem-se nas folhagens externas das plantas e escorrerem para o solo (MATUO, 1990).

As porcentagens do volume de calda em gotas menores que 50 [%V(50 µm)] e 100 µm [%V(100 µm)] variaram significativamente quando da adição do óleo na calda, com as menores porcentagens nas concentrações de 11 e 21% do adjuvante

(Tabela 1). O uso de óleo a 1% não alterou as variáveis %V(50 μm) e %V(100 μm) em comparação à água, não havendo, portanto, efeito na diminuição do risco de deriva de gotas. Por outro lado, a concentração de 6% aumentou significativamente essas variáveis, o que deve ser evitado, por incrementar as chances de perdas de gotas por deriva em uma situação real envolvendo pulverizações.

As análises feitas no experimento evidenciaram o efeito do óleo mineral em concentrações acima de 11% na redução do número de gotas propensas a perdas por deriva. Outro fator não considerado é que esse adjuvante também é capaz de minimizar os riscos de deriva por diminuir a evaporação de gotas pulverizadas (WODAGENEH; MATTHEWS, 1981; VARGAS; ROMAN, 2006).

Houve efeito significativo da pressão de calda/ar no tamanho das gotas pulverizadas, bem como da interação entre a calda e a pressão usadas. De 49/34 para 59/44 kPa, ocorreu diminuição significativa no tamanho de gotas, sobretudo naquelas de maior diâmetro, representadas pela variável $D_v(0,9)$, em que o diâmetro variou de 215,41 para 163,17 μm , ou seja, uma diminuição de 24% no diâmetro das gotas (Tabela 1). O DMV caiu de 86 para 72,91 μm , com reflexo no valor do SPAN, diminuindo-o significativamente (Tabela 1). Esta melhoria na uniformidade do tamanho de gotas é devido à redução acentuada na média de $D_v(0,9)$, embora também tenha havido redução no valor de $D_v(0,1)$ e, conseqüentemente, no DMV (Tabela 1).

Na pressão de 59/44 kPa os valores de %V(50 μm) e %V(100 μm) aumentaram significativamente em virtude da diminuição significativa no tamanho de todo o espectro de gotas produzidas pelo bocal efervescente (Tabela 1).

Aumentar a pressão da calda implica em maior energia no bocal para separar o volume das gotas, resultando em maior número de gotas com menor diâmetro. Resultados de trabalhos mostram que, para bocais que utilizam energia hidráulica, o aumento na pressão da calda resulta em diminuição no diâmetro das gotas pulverizadas (FERREIRA et al., 2007; GABRIEL; BAIIO, 2013; LASMAR et al., 2014).

O bocal avaliado não somente variou a pressão na calda como também a pressão do ar na formação das gotas. Em maiores pressões de ar, mais volume do mesmo é produzido, o que intensifica ainda mais a diminuição do tamanho das gotas (HANKS, 1995; MILLER; BUTLER-ELLIS, 2000).

Houve efeito significativo do dosador utilizado no tamanho de gotas e da interação entre a calda e o dosador utilizado. Diferentemente do efeito promovido pela pressão, o aumento no diâmetro do orifício de saída do dosador refletiu em aumentos significativos no tamanho das gotas pulverizadas (Tabela 1). Esse efeito trouxe aumento significativo no valor do SPAN, diminuindo a uniformidade no tamanho de gotas produzidas. Igualmente, diminuições significativas foram encontradas nas variáveis %V(50 μm) e %V(100 μm), com o uso do dosador de 0,8 mm em detrimento de 0,7 mm, que proporcionou menor variação do DMV das gotas perante concentrações crescentes do adjuvante óleo mineral e em ambas as pressões de calda/ar (Figura 3). Para o dosador de 0,8 mm, há maior variação do DMV, em virtude das concentrações de óleo utilizadas na pulverização.

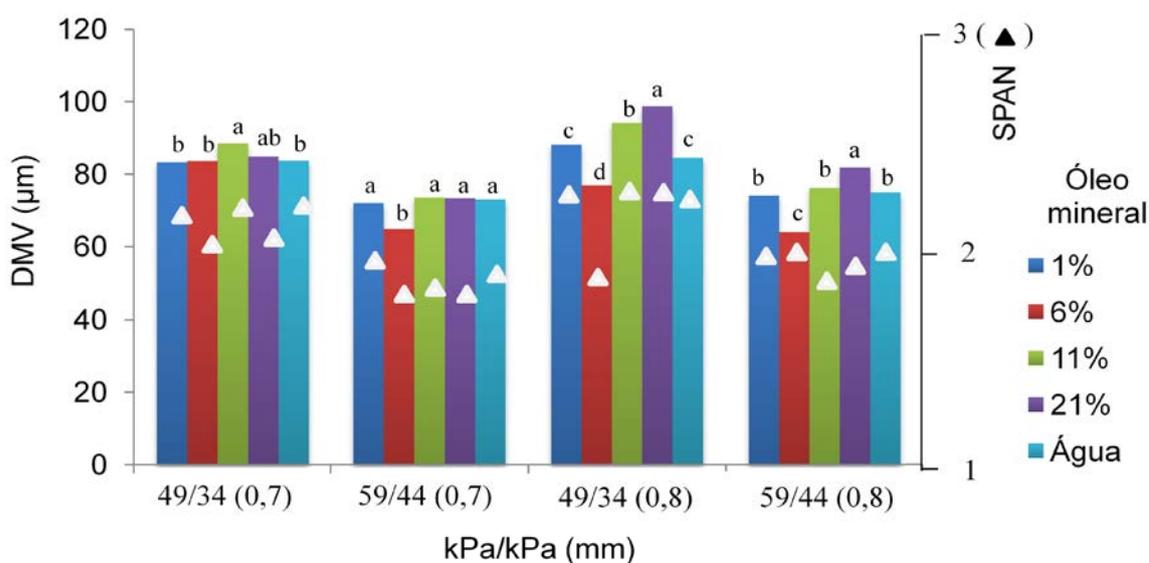


Figura 3. Desdobramento de valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) e uniformidade do tamanho de gotas (SPAN) produzidas em bocal efervescente em função de concentrações do adjuvante óleo mineral na calda, variações na pressão de calda/ar e no tamanho do orifício do dosador. Colunas dentro de cada tratamento seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Diferentes trabalhos mostram o mesmo efeito do aumento da vazão no aumento do tamanho de gotas produzidas, independente do modelo e tipo de bocal utilizado (HANKS, 1995; MILLER; BUTLER-ELLIS, 2000; CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007; NUYTENS et al., 2007). Quanto maior o diâmetro do dosador,

menor será a velocidade de passagem do líquido, com menor energia envolvida na formação de gotas, aumentando-as em tamanho.

As médias de DMV com maior uniformidade no tamanho de gotas (SPAN) foram encontradas na maior pressão de calda/ar de 59/44 kPa e com o dosador de 0,7 mm (Figura 3). Embora esta não seja a condição de maior DMV produzido, é a que melhor se adapta ao bocal no sentido de padronizar o tamanho de gotas sem que haja influência externa do adjuvante óleo mineral adicionado à calda. Quanto maior for a padronização do tamanho de gotas, mais apto estará o bocal para ser utilizado em modalidades de aplicação que utilizam volumes de calda reduzidos, atendendo às necessidades de diversos setores agrícolas no que diz respeito à diminuições no custo da aplicação, como a citricultura e a cafeicultura, entre outras (VOLL et al., 2006; ANDRADE; FERREIRA; SANTOS, 2010; DECARO JUNIOR et al., 2014).

Para as variáveis %V(50 µm) e %V(100 µm), a pressão de calda/ar teve maior importância, de modo que menores porcentagens foram encontradas no conjunto de pressão 49/34 kPa (Figura 4). Isto significa que, em menores pressões de trabalho no bocal, mais segura se torna a aplicação, podendo diminuir significativamente perdas ocasionais por deriva de gotas pequenas. Além disso, com o dosador 0,7, igualmente ao observado para o DMV e SPAN, os valores de %V(50 µm) e %V(100 µm) tiveram menor influência do uso dos adjuvantes.

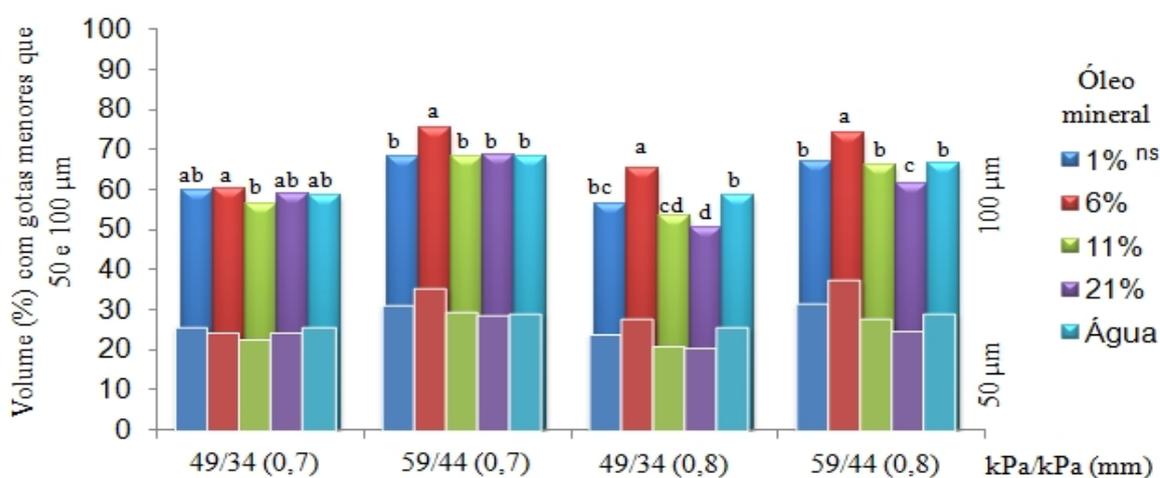


Figura 4. Desdobramento da porcentagem do volume de calda pulverizado por gotas menores que 50 e 100 µm, em função de doses crescentes do adjuvante óleo mineral, pressões de calda/ar e do tamanho do orifício dosador empregados no bocal efervescente.

De acordo com os valores de tensão superficial e viscosidade das caldas, observa-se que a 1% de óleo, houve intensa diminuição da tensão superficial em relação à água, com aumento na viscosidade (Tabela 2). Conforme alguns autores explicam em trabalhos com diferentes bocais, reduções na tensão superficial da calda geralmente reduzem o DMV das gotas pulverizadas, ao passo que o inverso ocorre com o aumento na viscosidade (SANDERSON et al., 1997; MACMULLAN, 2000; SPANOGHE et al., 2007; CUNHA; ALVES, 2009; OLIVEIRA, 2011). Dessa forma, pela influência distinta da tensão superficial e da viscosidade sobre o bocal, não houve diferença significativa para o DMV entre a água e a calda com 1%.

Tabela 2. Valores de tensão superficial e viscosidade das caldas contendo óleo mineral (experimento 1) e das caldas contendo os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano (experimento 2).

Óleo (v v ⁻¹)	Experimento 1		Experimento 2		
	Tensão superficial (mN m ⁻¹)	Viscosidade (mPa s)	Adjuvante (dose)	Tensão superficial (mN m ⁻¹)	Viscosidade (mPa s)
1%	41,76	1,30	Fos ¹	39,37	1,30
6%	32,49	1,30	Fos (10x)	33,36	1,28
11%	32,12	1,38	Hep ²	24,16	1,30
21%	31,74	1,77	Hep (10x)	22,19	1,28
Água	71,90	1,00	Água	71,90	1,00

¹Fosfatidilcoline. ²Heptametiltrisiloxano.

Entre a calda com 1 e 6% de óleo mineral, a viscosidade permaneceu inalterada. No entanto, a tensão superficial diminuiu para esta última, o que explica a diminuição no DMV das gotas pulverizadas, diferindo-a significativamente da calda com 1%.

Com o aumento da concentração do óleo de 6 para 11%, não houve alteração da tensão superficial da calda. Possivelmente, na concentração de 6%, houve o ponto de concentração micelar crítica para o adjuvante. Nesse ponto, as moléculas de óleo já interagiram com todas as moléculas de água, formando as chamadas micelas (IOST; RAETANO, 2010). Nas concentrações de 11 e 21%, houve acúmulo do adjuvante na interface líquido/gás da gota que unicamente aumentou a viscosidade dessas caldas. Portanto, não havendo maiores reduções na tensão

superficial e com o aumento da viscosidade, ocorreu aumento significativo no DMV das gotas com 11 e 21% pulverizadas pelo bocal.

3.2. ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DO USO DOS ADJUVANTES FOSFATIDILCOLINE E HEPTAMETILTRISILOXANO NA CALDA

O efeito das caldas fitossanitárias, das pressões de trabalho e do dosador, bem como a interação destes, foi significativo na alteração do padrão de gotas produzido pelo bocal (Tabela 3).

O uso do adjuvante fosfatidilcoline, na dose recomendada em bula do produto, diminuiu significativamente o DMV das gotas produzidas pelo bocal efervescente, em comparação ao controle com água (Tabela 3). Na dose dez vezes maior (10x), as gotas também tiveram redução significativa em seu DMV, no entanto, sem haver diferença da dose recomendada (Tabela 3).

Tanto para a dose recomendada quanto para a dose 10x de fosfatidilcoline, não houve redução significativa no tamanho das gotas de menor diâmetro do espectro pulverizado, de acordo com a variável $Dv(0,1)$, em comparação ao uso da água pelo bocal (Tabela 3). Já as gotas de maior diâmetro, conforme variável $Dv(0,9)$, sofreram reduções significativas em seus diâmetros comparadas ao controle. Tal redução, provavelmente devido ao decréscimo da tensão superficial da calda, resultou em maior uniformidade no diâmetro de gotas pulverizadas. Na dose normal e 10x, os valores de SPAN reduziram significativamente para 1,81 e 1,83, respectivamente, em comparação a 2,05 da água (Tabela 3). No entanto, ambas as doses aumentaram a porcentagem do volume de calda pulverizado em gotas menores que 50 e 100 μm , o que incrementa a parcela do volume propício a perdas por deriva (Tabela 3).

Tabela 3. Médias do diâmetro de gotas produzidas pelo bocal efervescente no segundo experimento usando-se os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano, na dose recomendada e dez vezes maior, variando-se pressões de trabalho e diâmetro do dosador.

Calda	Dv(0,1)	DMV	Dv(0,9)	SPAN	%V(100 µm)	%V(50 µm)
Fosfatidilcoline	27,74 b ¹	75,41 c	164,58 d	1,81 d	67,07 a	28,68 a
Fosfatidil (10x)	27,59 b	74,03 c	163,23 d	1,83 cd	68,00 a	29,14 a
Heptametil.	29,77 a	85,75 a	215,88 a	2,14 a	59,09 c	25,11 c
Heptametil. (10x)	29,55 a	81,05 b	182,14 c	1,88 c	62,52 b	25,77 c
Água	28,12 b	79,15 b	191,45 b	2,05 b	62,96 b	27,37 b
Erro padrão	0,18	0,69	2,00	0,01	0,52	0,27
DMS (5%)	0,74	2,74	7,95	0,06	2,07	1,09
CV (%)	2,57	3,49	4,36	3,03	3,25	4,02
Pressão e dosador	Dv(0,1)	DMV	Dv(0,9)	SPAN	%V(100 µm)	%V(50 µm)
49/34 kPa	29,82 a ¹	83,4 a	199,04 a	2,02 a	60,26 b	25,09 b
59/44 kPa	27,28 b	74,75 b	167,87 b	1,86 b	67,61 a	29,33 a
0,7 mm	27,93 b ¹	76,36 b	172,23 b	1,88 b	65,86 a	28,22 a
0,8 mm	29,17 a	81,8 a	194,68 a	2,00 a	62,00 b	26,20 b
Erro padrão	0,12	0,43	1,26	0,01	0,33	0,17
DMS (5%)	0,33	1,23	3,58	0,03	0,93	0,49
CV (%)	2,57	3,49	4,36	3,03	3,25	4,02

¹Médias seguidas por letras minúscula diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O padrão de gotas finas produzido pelo bocal efervescente favorece o aumento na porcentagem de cobertura dos alvos pulverizados, bem como penetração das gotas em locais de difícil acesso, já que possuem pouca massa e ficam suspensas por mais tempo, podendo caminhar por entre o dossel da planta, até depositarem-se (MATUO, 1990).

Dependendo do tipo de bocal, pode haver maior ou menor influência do uso de adjuvantes no padrão de gotas produzido. Em pontas hidráulicas de jato plano tipo leque com e sem indução de ar, a adição de fosfatidilcoline reduziu a produção de gotas susceptíveis à deriva em diferentes trabalhos (OLIVEIRA, 2011; GANDOLFO et al., 2013). Outros autores observaram o mesmo padrão para pontas que produzem gotas maciças, ou seja, sem indução de ar. Entretanto, a porcentagem de gotas menores que 100 µm e a amplitude relativa (SPAN) foram maiores para um modelo de ponta que produz gotas com indução de ar, usando o adjuvante fosfatidilcoline na calda (CHECHETTO; ANTUNIASSI, 2012; CHECHETTO et al., 2013).

Cunha, Bueno e Ferreira (2010), ao avaliar uma ponta com indução de ar verificou diminuição no valor do DMV, porém, sem aumento significativo de gotas susceptíveis à deriva, com o uso do adjuvante fosfatidilcolina. Dessa forma, observa-se que a simples mudança de modelo ou marca, para bocais de mesmo jato produzido, pode resultar em efeitos distintos a partir do uso de um mesmo adjuvante, verificados em todo o espectro de tamanho de gotas.

O emprego do adjuvante heptametiltrisiloxano, na dose recomendada pelo fabricante, promoveu aumento significativo no DMV das gotas para 85,75 μm , em comparação à água (79,15 μm) e demais caldas (Tabela 3). Além disso, aumentou significativamente os valores de $D_v(0,1)$ e $D_v(0,9)$, ou seja, as gotas de menor e de maior diâmetro no espectro pulverizado pelo bocal efervescente (Tabela 3). Embora tenha diminuído os valores de $\%V(50 \mu\text{m})$ e $\%V(100 \mu\text{m})$, o heptametiltrisiloxano, na dose recomendada, promoveu, como desvantagem, um aumento significativo no valor de SPAN em relação ao valor obtido com água e demais caldas (Tabela 3).

Na dose dez vezes maior (1% v v⁻¹), o adjuvante heptametiltrisiloxano também aumentou a média de $D_v(0,1)$, porém, diferentemente da dose recomendada, não modificou o DMV e diminuiu a média de $D_v(0,9)$ em relação ao tratamento controle com água (Tabela 3). Em função dessa diminuição no $D_v(0,9)$, essa calda reduziu o valor de SPAN na análise, melhorando a uniformidade de tamanho das gotas pulverizadas, no entanto, sem diminuir a $\%V(100 \mu\text{m})$ (Tabela 3).

A injeção de ar para a formação das gotas, no bocal efervescente, conferiu características similares às aquelas encontradas em bocais hidráulicos com indução de ar, quando da adição de surfatantes às caldas, resultando em incremento no tamanho das gotas produzidas (MILLER; BUTLER-ELLIS, 2000; CHECHETTO; ANTUNIASSI, 2012; CHECHETTO et al., 2013). Esse incremento é associado ao adjuvante por ser facilitador da formação de espuma, aumentando a formação de gotas que contenham ar em seu interior e aumentando consideravelmente seu tamanho (PIGGOTT; MATTHEWS, 1999). Não somente em pontas de jato plano com indução de ar, mas também em pontas de jato cônico vazio, como é o caso do bocal efervescente, foram encontrados resultados de aumento no tamanho de gotas e redução de deriva, por meio do uso de surfatantes (THEBALDI et al., 2009).

Embora o bocal efervescente produza gotas maciças (sem a presença de ar), este se assemelhou mais com pontas hidráulicas com indução de ar em relação a pontas de jato sem indução, em função do uso do adjuvante fosfatidilcoline. Trabalhos de Chechetto e Antuniassi (2012) e Chechetto et al. (2013) mostram que esse adjuvante aumentou o tamanho de gotas em ponta sem indução de ar, enquanto diminuiu o tamanho das mesmas quando do uso de ponta de jato com indução de ar.

A mudança na pressão da calda/ar de 49/34 para 59/44 kPa resultou em diminuições no tamanho de todo o espectro de gotas pulverizados, conforme observado nas variáveis $Dv(0,1)$, DMV e $Dv(0,9)$ que diminuíram seu diâmetro em 8,5, 10,4 e 15,7%, respectivamente (Tabela 3). Como consequência direta dessa diminuição, o valor de SPAN reduziu significativamente, enquanto %V(50 μ m) e %V(100 μ m) aumentaram, juntamente com a possibilidade de perdas por deriva em situações reais de pulverização a campo (Tabela 3).

Aumentos significativos nas variáveis $Dv(0,1)$ (4,4%), DMV (7,1%) e $Dv(0,9)$ (13%) foram observados quando da troca do orifício do dosador de 0,7 para 0,8 mm, ou seja, com efeito em praticamente todas as classes de tamanho de gotas produzidas no bocal efervescente (Tabela 3). Devido a isso, a variável SPAN teve significativo aumento, ao passo que as variáveis %V(50 μ m) e %V(100 μ m) foram reduzidas.

Esse comportamento do bocal efervescente, em função do aumento na pressão e mudança no dosador, foi similar ao ensaio anterior usando-se caldas contendo concentrações crescentes de óleo mineral.

Embora o adjuvante fosfatidilcoline, na dose recomendada, tenha diminuído o DMV das gotas pulverizadas pelo bocal, sobretudo com o uso do dosador de 0,8 mm, este adjuvante melhorou a uniformidade de diâmetros, conforme mostra a variável SPAN (Figura 5).

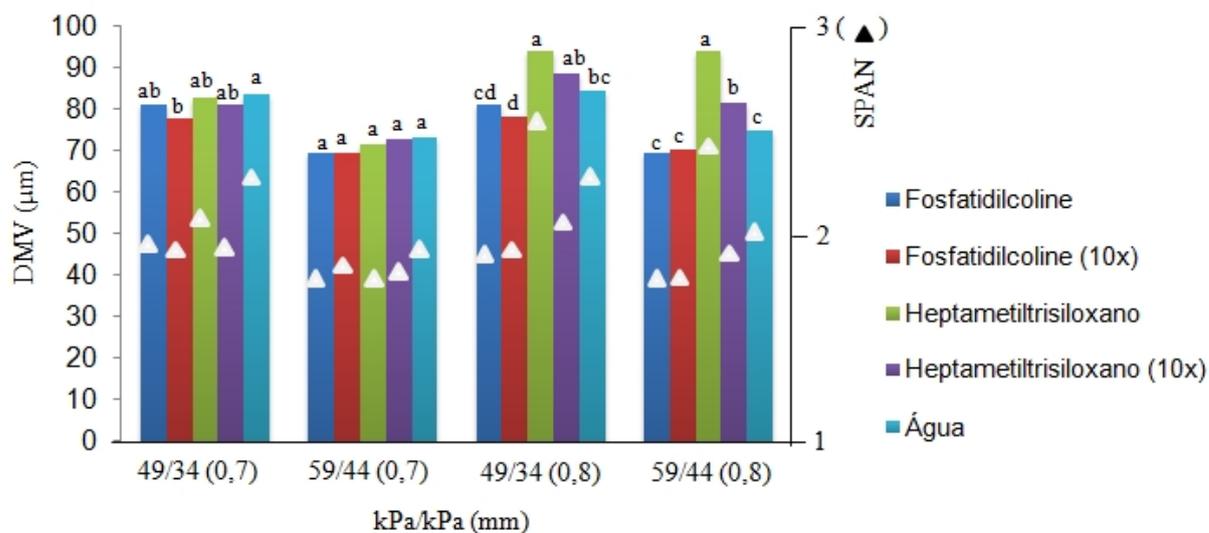


Figura 5. Desdobramento do diâmetro mediano volumétrico (DMV) e uniformidade do tamanho de gotas (SPAN) produzidas em bocal efervescente usando-se caldas com os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano em 1 e 10 vezes a dose recomendada, variando a pressão de calda/ar e o tamanho do orifício do dosador. Colunas dentro de cada tratamento seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Por diminuir as médias de SPAN, o fosfatidilcoline pode favorecer o uso do bocal efervescente em pulverizações com volumes de calda reduzidos, especialmente na pressão de calda/ar de 59/44 kPa, independente do dosador utilizado (Figura 5). Isso é possível já que gotas menores e mais uniformes carregam menos volume de calda, possibilitando boa cobertura, desde que haja assistência de ar para impulsioná-las até o alvo e que as condições meteorológicas estejam dentro do preconizado para minimizar perdas por deriva (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Por outro lado, quando se pensa em utilizar o bocal efervescente em pulverizações sob condições meteorológicas mais adversas, o uso do adjuvante heptametiltrisiloxano, na dosagem recomendada pela bula, seria mais apropriado por aumentar o DMV das gotas, associado ao dosador de 0,8 mm, independente da pressão usada (Figura 5). Dessa forma, menores seriam as variáveis %V(50 µm) e %V(100 µm), o que, por consequência, diminuiria as chances de perdas das gotas de menor diâmetro por deriva (Figura 6).

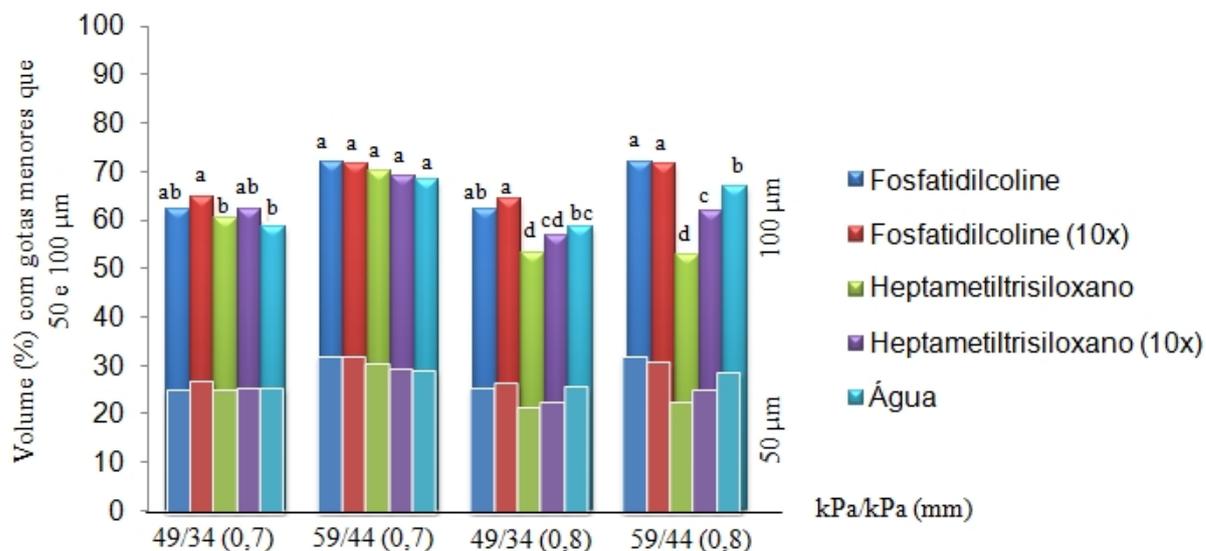


Figura 6. Desdobramento da porcentagem do volume de calda pulverizado por gotas menores que 50 e 100 μm , usando-se caldas com os adjuvantes fosfatidilcoline e heptametiltrisiloxano em 1 e 10 vezes a dose recomendada, variando a pressão de calda/ar e o tamanho do orifício do dosador no bocal efervescente.

3.3. AVALIAÇÃO DO DIÂMETRO DE GOTAS E VAZÃO PULVERIZADAS PELO BOCAL EFERVESCENTE

O DMV de gotas produzidas no bocal efervescente, usando-se somente água, variou significativamente em função da mudança na pressão calda/ar (DMS=3,2; CV=2,83; $p < 0,05$). No entanto, permaneceu inalterado quando foi modificado o diâmetro do orifício do dosador (DMS=3,2; CV=2,83; $p > 0,05$). Isto também se verificou em relação à pressão e ao dosador, com as variáveis SPAN, %V(50 μm) e %V(100 μm).

Em todas as configurações avaliadas, o bocal caracterizou-se por produzir gotas classificadas como muito finas, uma vez que seu DMV sempre ficou abaixo de 100 μm (BCPC, 1999; ASAE, 2004).

Uma vez que o bocal foi feito para aplicações com volumes reduzidos, gotas finas são desejáveis, desde que possuam tamanho e massa suficientes para se depositarem no alvo (LASMAR et al., 2014).

Visando à melhor uniformidade de tamanho de gotas, o bocal efervescente é melhor utilizado com pressão na calda/ar de 59/44 kPa. Nesta configuração, pode-se

alternar entre os dosadores 0,7 e 0,8 mm para aumentar a vazão de calda sem modificar o tamanho das gotas e a uniformidade de diâmetros.

A vazão do bocal pode ser determinada por modificações na pressão da calda, bem como por alteração no diâmetro do orifício de saída do dosador. Esta última opção é mais indicada por propiciar aumentos mais expressivos na vazão em relação à alteração na pressão (Figura 7).

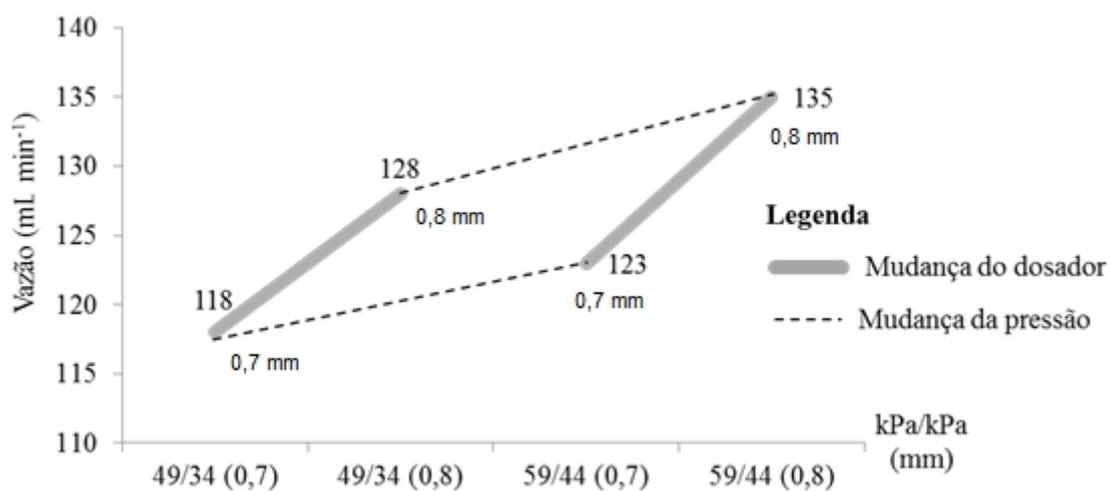


Figura 7. Variação na vazão de água pelo bocal efervescente em função de variação na pressão da calda/ar, em kPa, e no tamanho do orifício do dosador.

4. CONCLUSÕES

O bocal efervescente pode ser recomendado em aplicações de produtos fitossanitários que requerem a produção de gotas muito finas ($< 100 \mu\text{m}$).

O uso do óleo mineral em aplicações com o bocal efervescente reduz o risco de perdas das gotas de menor tamanho por deriva, desde que sejam utilizadas concentrações iguais ou maiores que 11% do volume da calda.

O adjuvante fosfatidilcolina, na dose recomendada na bula, pode ser adicionado à calda para facilitar a produção de gotas muito finas pelo bocal efervescente, melhorando a uniformidade de diâmetros, em condições meteorológicas desfavoráveis à ocorrência de deriva.

O adjuvante heptametiltrisiloxano, na dose recomendada pela bula, pode ser adicionado às caldas pulverizadas, visando diminuir o risco de deriva de gotas produzidas pelo bocal.

O uso do dosador 0,7 no bocal efervescente deve ser priorizado em pulverizações em que não se sabe qual é o efeito da calda no tamanho das gotas pulverizadas.

A vazão do bocal é mais influenciada pelo o tamanho do orifício do dosador, em relação ao conjunto de pressão calda/ar.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. J. de; FERREIRA, M. C.; SANTOS, N. C. dos; efeito da adição de óleos ao acaricida cyhexatin sobre o ácaro *Brevipalpus phoenicis* e na retenção de calda por folhas de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1055 – 1063, 2010.
- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. Spray nozzle classification by droplet spectra. St. Joseph: **ASAE**, 2004. p.411-14. (ASAE Standard S572 FEB04).
- B.C.P.C. - Nozzle selection handbook. Bulletin 611/TA1, 1990. 40p. In: CHRISTOFOLETTI, J. C. Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. **Boletim Técnico**. São Paulo: Teejet, 1999. 15 p.
- CHECHETTO, R. B.; ANTUNIASSI, U. R. Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n.3, jul/set, p. 130 - 142, 2012.
- CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A.; VILELA C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina**, v.34, p.37-46, 2013. [http:// dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p37](http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p37)
- 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.1, p. 10-15, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v.34, n. 9, p. 655 - 659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1153 - 1158, 2010.
- DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantation. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 415-422, 2014.
- DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 5, p.1493 – 1501, 2007.
- ETHERIDGE, R.E.; WOMAC, A.R.; MUELLER, T.C. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Tech**, Lawrence, v.13, n.4, p.765-70, 1999.

FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. Fatores qualitativos para a ponta hidráulica de jato plano ADGA 110015 na pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 471 - 478, mai/ago 2007.

FERREIRA, M. C.; MILLER, P. C. H.; TUCK, C. R. Measurements of the droplet size and velocity distributions in the sprays produced by a range of pressure nozzle designs operating with a range of spray liquids. **Aspects of Applied Biology**, v. 99, p. 219-224, 2010.

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

FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO, L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, p. 1431-1440, 2013.

GABRIEL, R. R. F.; BAIO, F. H. R. Interação entre pressão e tamanho de gota por instrumentação eletrônica em pulverizador pressurizado por CO₂. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 164-169, abr/jun 2013.

GANDOLFO, M. A.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D. de. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 474-480, jul-set, 2013.

HANKS, J. E. Effect of Drift Retardant Adjuvants on Spray Droplet Size of Water and Paraffinic Oil Applied at Ultralow Volume. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 380 – 384, abr/jun 1995.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatante em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.670-680, 2010.

LAN, Y.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K; MARTINS, D. E.; LOPEZ, L. E. 2007. Drift reduction with drift control adjuvants. **ASABE**. St. Joseph. 14 p. (paper n. 071060).

LASMAR, O.; FERREIRA, M. C.; DECARO JUNIOR, S. T.; LORENCON, J. R. Droplet size of pneumatic spraying nozzles used for the control of coffee pests. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 441-444, 2014.

LEFEBVRE, A.H. **Atomization and sprays**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. 421 p.

MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 180 – 185, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p180-185>

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal, Funep, 1990, 139p.

MCMULLAN, P. M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, v.14, p. 792- 797, 2000. [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0792: UA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0792: UA]2.0.CO;2)

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

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010. v. 1. 588p.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

OLIVEIRA, J. R. G. di; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 92 - 99, 2010.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

PIGGOTT, S.; MATTHEWS, G. A. Air induction nozzles: a solution to spray drift? **International Pest Control**, London, v. 41, p. 24-28, 1999.

SANDERSON, R.; HEWITT, A. J.; HUDDLESTONT, E. W.; ROSS, J. B. Relative drift potential and droplet size spectra of aerially applied propanil formulations. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 8, p. 717-721, 1997.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B.; SANTIAGO, H.; MACIEL, C. F. S. Spectrum of droplets produced by use of adjuvants. **Idesia**, Chile, v. 31, n. 1, p.27 – 33, jan/abril, 2013.

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

THEBALDI, M. S.; REIS, E. F. dos; GRATÃO, P. T. S.; SANTANA, M. S. Efeito da adição de adjuvante na redução de deriva em pontas de pulverização tipo cone vazio. **Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 18, n. 2, p. 1 – 6, 2009.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10p.

VOLL, C. E.; VÁSQUEZ-CASTRO, J. A.; GADANHA JR, C. D.; LINO, P. L. Distribución volumétrica de la boquilla de pulverización XR 11003. **Revista Peruana de Entomología**, v. 45, p. 95 - 99, 2006.

WODAGENEH, A.; MATTHEWS, G.A. The addition of oil to pesticide sprays – Effect on droplet size. **Tropical Pest Management**, v.27, p.121-124, 1981.

CAPÍTULO 4. SIMILARIDADE ENTRE CALDAS FITOSSANITÁRIAS E RELAÇÕES EXISTENTES ENTRE DIFERENTES VARIÁVEIS DA PULVERIZAÇÃO EM CITROS

RESUMO – O presente trabalho avaliou a similaridade entre caldas fitossanitárias com relação a variáveis que indicam características físicas, o tamanho de gotas produzido e a qualidade da pulverização em folhas de citros, bem como as correlações existentes entre essas variáveis. As caldas fitossanitárias tiveram concentrações variadas do fungicida azoxistrobina+difenoconazol, dos adjuvantes óleo mineral, heptametiltrisiloxano e fosfatidilcolina e de um sal sulfato de manganês. Ao todo, foram confeccionadas 26 caldas mais um controle com água. Foram avaliadas as características como valor de pH, condutividade, densidade, viscosidade, separação dos constituintes na calda, diâmetro de gotas pulverizadas, tensão superficial, ângulo de contato de gotas e volume de retenção em folhas de citros. A similaridade entre caldas foi avaliada por meio da análise de agrupamento pelo hierárquico e pelo método não-hierárquico de K-means. As médias de cada grupo foram submetidas à análise ANOVA e comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), para cada variável. Posteriormente, as variáveis foram avaliadas pela análise de componentes principais, confrontando os três autovalores mais representativos. Por fim, foi feita a análise de fatores para verificar os coeficientes das variáveis e validar as correlações entre elas dentro dos fatores selecionados na análise de componentes principais. As caldas contendo adjuvantes proporcionaram efeitos semelhantes na maioria das variáveis, diferenciando-se das caldas sem seu uso e das caldas com altas concentrações de óleo mineral. Dessa forma, a escolha de determinado adjuvante deve pressupor efeito em várias variáveis na calda, optando por produtos que tenham efeito mais pronunciado na variável de interesse agrônomo. A variável viscosidade correlacionou-se positivamente com os diâmetros de gotas produzidos pela ponta de pulverização de jato plano. Houve correlação negativa entre a variável densidade e a separação de produtos na calda após dez minutos de repouso. Quanto maior a tensão superficial, maior foi o ângulo de contato de gotas sobre as folhas de citros. Essas duas variáveis apresentam relação quadrática com a variável retenção de calda pelas folhas. A condutividade correlacionou-se negativamente com o valor de pH das caldas. Estas correlações possibilitam prever o comportamento de variáveis importantes para a eficácia de aplicações.

Palavras-chave: adjuvantes, análise multivariada, tecnologia de aplicação

CHAPTER 4. SIMILARITY AMONG SPRAYING LIQUIDS AND RELATIONSHIPS EXISTING AMONG DIFFERENT SPRAY VARIABLES IN CITRUS

ABSTRACT – The present work evaluated the similarity among spraying liquids with regard to variables that indicate physical characteristics, droplets size produced and the quality of the spray in citrus leaves, as well as existing correlations among these variables. These latter, had varied concentrations of the fungicide azoxistrobin+difenoconazol; the adjuvants mineral oil, heptamethyltrisiloxane and phosphatidylcholine; and the salt manganese sulphate. In all, were confectioned 26 spraying liquids and a control with water. It were assessed the characteristics value of pH, conductivity, density, viscosity, separation of liquid constituents, diameter of sprayed droplets, surface tension, contact angle of droplets and spray volume retained in citrus leaves. The similarity among spraying liquids was assessed by means of clustering analysis using the methods hierarchical and non-hierarchical of K-means. The averages of each group were subjected to ANOVA and compared by Tukey test ($p < 0.05$), for all the variables. Subsequently, the variables were analyzed according to principal components method, confronting the three more representative eigenvalues. Finally, was executed the factor analysis to verify the coefficients of variables and validate the correlations between them inside the selected factors from the principal components analysis. The spraying liquids containing adjuvants provided similar effects in most of the variables, differing from the spraying liquids without adjuvants and from those with high concentrations of mineral oil. Thus, the choice of determined adjuvant must presuppose effect in several variables of the spraying liquid, so that opting for products with a more pronounced effect on the variable of agronomic interest. The variable viscosity correlated positively with the diameter of produced droplets by the flat fan spray nozzle. There was negative correlation between the variable density and separation of products in the spraying liquid after ten minutes resting. The higher is the surface tension, the higher is the contact angle of applied droplets on citrus leaves. These two variables present quadratic relationship with the variable spraying liquid retention by the leaves. The conductivity negatively correlated with the pH value of the spraying liquids. These correlations allows the prediction of certain variables behave important for the efficacy of sprays.

Key words: adjuvants, multivariate analysis, application technology

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a maior frequência de pulverizações na cultura dos citros tem sido a maneira encontrada por produtores para manter a sanidade dos pomares em meio a inúmeros problemas fitossanitários causados por patógenos, insetos e ácaros. Devido a isto, tornou-se fundamental melhorar a eficiência na aplicação dos produtos fitossanitários.

Quando da chegada das gotas nas folhas de citros, há a possibilidade de perdas por ricocheteio ou escorrimento, em função do ângulo de contato formado pela gota na superfície das folhas (CUNHA et al., 2004; LEFEBVRE, 1989). Quando muito alto, impede o espalhamento da gota e, conseqüentemente, do produto sobre o alvo, diminuindo as chances de sucesso do tratamento (VASIL'EV; MARIOROVA, 2014; XU et al., 2011).

Diversos trabalhos no mundo todo mostram o efeito do uso de adjuvantes na melhoria da pulverização em diferentes culturas, evitando problemas na estabilidade da calda, no transporte das gotas e seu espalhamento no alvo (ANDRADE; FERREIRA; SANTOS, 2010; CUNHA; ALVES, 2009; FERREIRA et al., 2013; SASAKI et al., 2013; SPANOGHE et al., 2007; TANG; DONG; LI, 2008; THEBALDI et al., 2009).

O efeito benéfico dos adjuvantes está associado a alterações nas características das caldas fitossanitárias, como tensão superficial, viscosidade, pH, entre outras (CUNHA; ALVES, 2009; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012). No entanto, pouco se sabe a respeito de sua associação com um ou mais produtos fitossanitários, fertilizantes foliares e marcadores utilizados em pesquisas, usualmente misturados no tanque do pulverizador e as mudanças provocadas no conjunto de características da calda.

A partir da mistura de produtos na calda, o efeito em uma ou mais características pode ou não interferir nas demais. Alguns trabalhos mostram o efeito de características como viscosidade no tamanho de gotas pulverizadas (CUNHA; ALVES, 2009; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012), bem como o efeito da tensão superficial no comportamento de gotas depositadas sobre o alvo (DECARO JUNIOR et al., 2014; IOST; RAETANO, 2010).

O conhecimento das relações existentes entre características da calda fitossanitária pode prever o comportamento de variáveis durante a pulverização quando do uso de determinados produtos e adjuvantes. Dessa forma, pode-se optar pelo uso de determinados produtos de efeito já conhecido sobre algumas variáveis visando à modificações desejáveis em outras características, tais como valor de pH, condutividade, densidade, viscosidade, homogeneidade, tamanho de gotas pulverizadas, tensão superficial, ângulo de contato de gotas e retenção de líquido. Estas são consideradas quando adjuvantes são adicionados às caldas, segundo as indicações dos fabricantes.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar a similaridade de diferentes caldas fitossanitárias com relação às variáveis valor de pH, condutividade, densidade, viscosidade, homogeneidade, tamanho de gotas pulverizadas, tensão superficial, ângulo de contato de gotas e retenção de líquido em folhas de citros, bem como a correlação existente entre variáveis, por meio de análises exploratórias multivariadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No laboratório do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA do Depto de Fitossanidade da UNESP, FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP, foram confeccionadas caldas fitossanitárias variando-se concentrações de um adjuvante óleo mineral (Argenfrut[®] – Agrovant), e dos adjuvantes fosfatidilcoline+ácido propiônico (LI 700[®] – De Sangosse) e heptametiltrisiloxano (Silwet L-77 Ag[®] – Momentive). As caldas também tiveram concentrações variadas de sulfato de manganês (MnSO₄), por ser frequentemente utilizado como marcador de calda em experimentos com pulverizações, e a presença ou não do fungicida azoxistrobina+difenoconazol (Amistar Top[®] - Syngenta, Suspensão concentrada). Ao todo, foram feitas 26 caldas mais uma representada por água, como controle (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das caldas fitossanitárias utilizadas no experimento.

Calda (Óleo-MnSO ₄)	Adjuvante		Fungicida (mL L ⁻¹)	MnSO ₄ (g L ⁻¹)
	Tipo	% (v v ⁻¹)		
0-0	-	-	0,4	-
5-0	Óleo mineral	5	0,4	-
15-0	Óleo mineral	15	0,4	-
25-0	Óleo mineral	25	0,4	-
0-20	-	-	0,4	20
5-20	Óleo mineral	5	0,4	20
15-20	Óleo mineral	15	0,4	20
25-20	Óleo mineral	25	0,4	20
0-50	-	-	0,4	50
5-50	Óleo mineral	5	0,4	50
15-50	Óleo mineral	15	0,4	50
25-50	Óleo mineral	25	0,4	50
1-0	Óleo mineral	1	-	-
6-0	Óleo mineral	6	-	-
11-0	Óleo mineral	11	-	-
21-0	Óleo mineral	21	-	-
2,7-10	Óleo mineral	2,7	2,73	10
1-10	Óleo mineral	1	0,95	10
0,5-10	Óleo mineral	0,5	0,5	10
6-20	Óleo mineral	6	6	20
4,6-20	Óleo mineral	4,6	4,6	20
3,7-20	Óleo mineral	3,7	3,7	20
Hd	Heptametiltrisiloxano	0,1 ^d	-	-
HD	Heptametiltrisiloxano	1 ^D	-	-
Pd	Fosfatidilcoline	0,5 ^d	-	-
PD	Fosfatidilcoline	5 ^D	-	-
Água	-	-	-	-

^dDosagem cheia recomenda pelo fabricante do produto. ^DDosagem dez vezes maior em relação à recomendada

As caldas foram avaliadas em seu valor na escala de pH, por meio de equipamento peagômetro de bancada (Q400AS, marca Quimis[®]), devidamente calibrado para a faixa de caldas ácidas. Foram feitas três leituras por calda, utilizando-se a média como valor útil.

A condutividade foi avaliada em equipamento condutivímetro portátil (mCA-150P marca TecnoPON) previamente calibrado, com as caldas apresentando temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante as medições, com os valores apresentados na unidade mS cm^{-1} . Três leituras para cada calda foram feitas e utilizou-se a média como valor útil.

Posteriormente, as caldas foram novamente homogeneizadas e despejadas em balão volumétrico graduado até atingir os 200 mL da graduação. Cada balão teve seu peso vazio medido em balança de precisão (1 mg), antes de receber as alíquotas das caldas, e novamente pesado, contendo os 200 mL de volume. O peso do balão volumétrico cheio menos seu peso vazio foi dividido por 200 para encontrarmos o valor de densidade de cada calda em $\text{mg } \mu\text{L}^{-1}$. Foram feitas três leituras por calda, utilizando-se a média como valor útil.

Alíquotas das caldas homogeneizadas foram levadas a equipamento viscosímetro (Alemmar[®]) para a medição da viscosidade na unidade mPa s . Para todas as 27 caldas, o equipamento utilizou o rotor ("Spindle") zero (6.0). A rotação do rotor foi mantida em 100 rpm para todas as caldas, com exceção das caldas 5-50, 15-50 e 25-50, que foram analisadas em 60 rpm. A temperatura das amostras durante as medições foi mantida em 21°C . Três leituras para cada calda foram feitas e utilizou-se a média como valor útil.

Para a verificação da estabilidade da mistura entre produtos, foram utilizadas provetas de vidro graduadas em 500 mL e preenchidas com amostras de cada calda (Figura 1).

Após o preenchimento dos 500 mL, o conteúdo das provetas foi homogeneizado, com auxílio de bastão de vidro, por 20 segundos e, posteriormente, foram deixadas em repouso para verificar a separação entre produtos e formação de fases (Figura 1).

Após dez minutos, foi anotado o local na graduação da proveta em que ocorreu o início da separação entre duas fases no líquido. O volume de calda na

fase menos densa, ou seja, aquela que ficou sobrenadante na proveta, foi dividido pelo volume total da proveta (500 mL) e multiplicado por 100 para encontrarmos a porcentagem de volume de calda separado após dez minutos de repouso. Foram feitas três repetições por calda e usada a média, como valor útil.

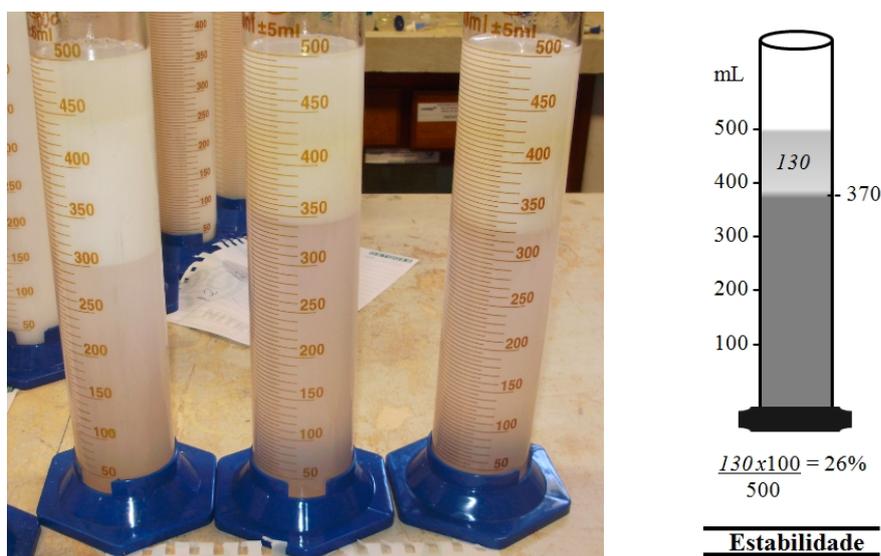


Figura 1. Estabilidade de calda calculada pela porcentagem de volume separada após 10 minutos em repouso.

A leitura da tensão superficial das caldas foi feita em equipamento tensiômetro (OCA – DataPhysics[®]), de modo que gotas foram formadas na ponta de uma agulha de 0,52 mm de diâmetro externo e mantidas na forma pendente (Figura 2A). Usou-se o máximo volume de gota capaz de mantê-la presa à ponta da agulha, variando entre 4 e 3 μL , conforme foi maior ou menor a tensão da calda, respectivamente.

A imagem das gotas foi capturada segundo a segundo durante um minuto, usando-se o software SCA 20 (Figura 2B). Pela imagem da gota, o software forneceu o valor de tensão superficial por segundo, conforme a equação de Young-Laplace. Aos 30 segundos, o valor de tensão superficial se estabilizou para todas as caldas e foi utilizado como valor útil. Quatro gotas foram tomadas como repetições para cada calda e, posteriormente, feita a média (Figura 2B).

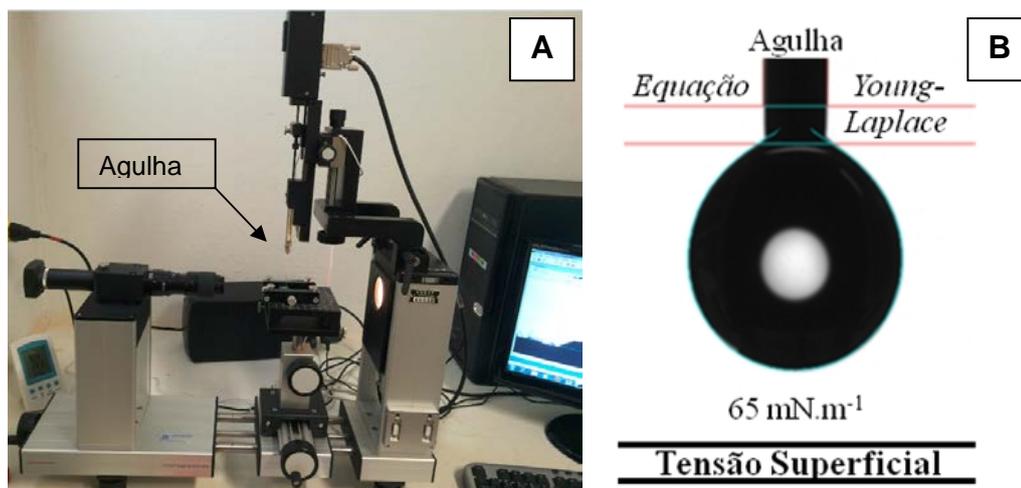


Figura 2. A. Foto do equipamento tensiômetro (OCA – DataPhysics®). B. Formação de gota pendente na ponta da agulha para análise da imagem e leitura do valor de tensão superficial da calda.

O ângulo de contato de gotas provenientes das caldas foi determinado usando-se a superfície adaxial de folhas de citros, presas a uma pequena prensa para que ficasse o mais plana possível. Sobre a folha, gotas de $3 \mu\text{L}$ foram aplicadas usando-se a agulha do equipamento tensiômetro. A imagem da gota sobre a folha foi imediatamente capturada, segundo a segundo, e analisada em seu ângulo de contato médio, no software SCA 20 (Figura 3). O espalhamento foi gradual durante os 60 segundos, portanto a média foi tomada como valor útil. Três gotas foram aplicadas por calda, servindo como repetições para posterior obtenção da média.

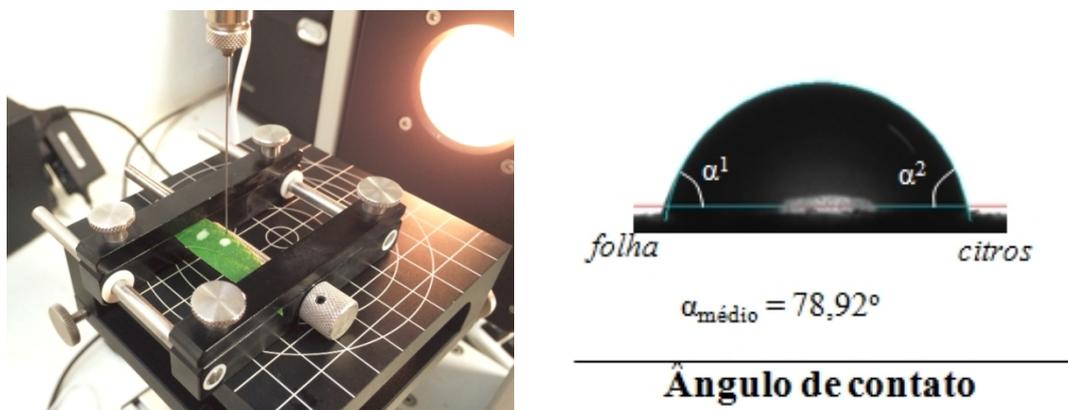


Figura 3. Foto da aplicação de gotas sobre a superfície foliar de citros, usando o equipamento tensiômetro, para verificação do ângulo de contato de gotas usando a média dos dois ângulos.

A retenção do volume de calda pelas folhas de citros foi feita por meio de pulverizações até o ponto de máxima retenção visando obter a diferença entre o peso da folha pulverizada e seu peso seco. Para isso, folhas de tamanho padronizado foram presas a uma haste posicionada sobre uma balança de precisão (1 mg), mantendo as folhas entre os jatos de opostos de duas pontas de pulverização de jato cônico vazio modelo TLX2 (Figura 4). As folhas foram pesadas antes da pulverização e quando não havia mais escorrimento. Quatro folhas foram pulverizadas por calda, servindo como repetições, em ambiente com 54% de umidade relativa e 28°C de temperatura.

O peso retido pelas folhas foi transformado em volume usando-se o valor de densidade previamente obtido para cada calda, conforme explicado anteriormente. Esse valor foi então dividido pela área da respectiva folha, obtida em medidor de superfície (LI-3100C Area Meter, marca LI-COR) (Figura 4). O valor resultante foi expresso na unidade de $\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$ e a média das repetições foi calculada individualmente para caldas.

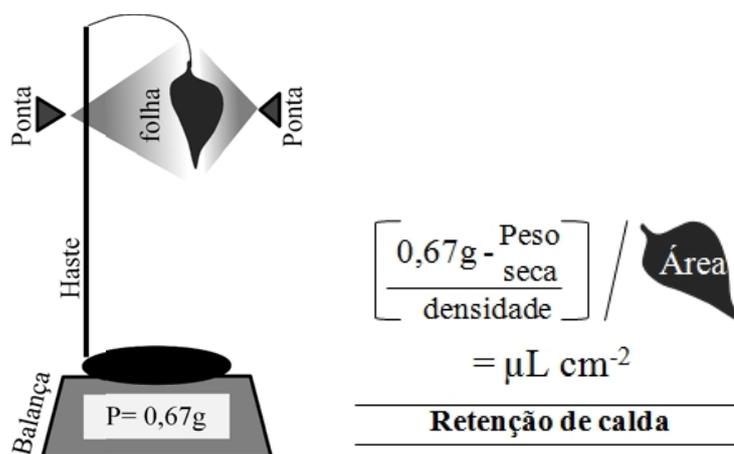


Figura 4. Esquema da metodologia utilizada para verificar o volume de calda retido por área foliar de citros.

Uma ponta de pulverização de jato plano modelo XR11001, trabalhando na pressão de 310 kPa, foi montada sobre equipamento Mastersizer S[®], versão 2.19 para a medição do tamanho de gotas pulverizadas em função das 27 diferentes caldas fitossanitárias. A ponta foi posicionada a 30 cm do feixe de laser e as variáveis avaliadas na leitura foram o diâmetro mediano volumétrico separam 10

[Dv(0,1)] e 90 % [Dv(0,9)] do volume pulverizado, ou seja, as gotas de menor e maior diâmetro, respectivamente. Durante as pulverizações, as caldas foram armazenadas em recipiente de 5 L de capacidade e pressurizadas por meio de um compressor. A temperatura do ambiente foi de 23°C e a umidade relativa do ar de 59%, mantendo-se constante.

2.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA MULTIVARIADA

Os resultados das dez variáveis para as 27 caldas foram enviados ao programa Statistica (versão 7.0), com as linhas na planilha representando as caldas enquanto nas colunas estavam as variáveis. Antes das análises multivariadas, todos os dados na planilha foram padronizados na coluna, de modo que a soma de todos os dados de cada variável ficou igual à zero. Essa operação foi feita para que todas as variáveis tivessem média igual a zero e variância igual a 1 (HARTINGAN, 1975).

As caldas fitossanitárias foram submetidas à análise de agrupamento para verificar a similaridade existente entre elas, considerando as variáveis valor de pH, condutividade, densidade, viscosidade, separação (10 min), ângulo de contato de gotas e retenção em folhas de citros, tensão superficial e Dv(0,1) e Dv(0,9).

A análise de agrupamento pelo método hierárquico aproximou as caldas pela similaridade usando as distâncias euclidianas e uniu os grupos pelo método de Ward. Ao final, foi formado um dendrograma para melhor visualização do provável número de grupos distintos.

A partir do dendrograma, foi possível determinar o número ideal de grupos desejados na análise de agrupamento pelo método não-hierárquico de K-means, em que se utilizou a matriz de distâncias euclidianas. O comportamento de cada grupo com relação às variáveis foi apresentado na forma de gráfico, contendo suas respectivas caldas.

Foi feita a análise de variância para verificar diferenças significativas entre grupos para cada uma das dez variáveis e as médias dos grupos comparadas pelo teste de comparação múltipla de Tukey ($p < 0,05$).

Para verificar o comportamento das variáveis, foi feita análise de componentes principais, usando-se os autovetores da matriz de covariância. A

análise incluiu os dados de todas as dez variáveis e os autovalores (fatores) gerados com número acima de 1 foram selecionados, conforme critério de Kaiser. A interação entre cada um dos fatores foi apresentada na forma de gráfico contendo a relação entre variáveis e sua proximidade com as 27 caldas.

A análise de fatores, usando-se o método de extração por componentes principais, foi feita para verificar a importância das variáveis dentro de cada um dos fatores selecionados na análise de componentes principais. Foi adotado o fator de rotação Biquartimax normalizado por melhor manifestar as interações entre variáveis na análise.

Os coeficientes das variáveis dentro de cada fator foram apresentados e somente as variáveis com maiores coeficientes, dentro do fator, foram consideradas e analisadas de acordo com as correlações obtidas na análise de componentes principais.

O efeito das variáveis viscosidade e tensão superficial nas variáveis $Dv(0,1)$ e $Dv(0,9)$ foram também demonstrados na forma de gráfico em três dimensões, bem como o efeito e interação das outras variáveis importantes para a homogeneidade das caldas e para a qualidade da pulverização em plantas de citros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. AGRUPAMENTO DAS DIFERENTES CALDAS FITOSSANITÁRIAS

Todas as 27 caldas fitossanitárias agruparam-se em três grupos distintos em virtude de 10 variáveis analisadas, conforme o método de agrupamento hierárquico (Figura 5). Quanto maior é a distância euclidiana de ligação entre cada grupo, maior é a diferença existente.

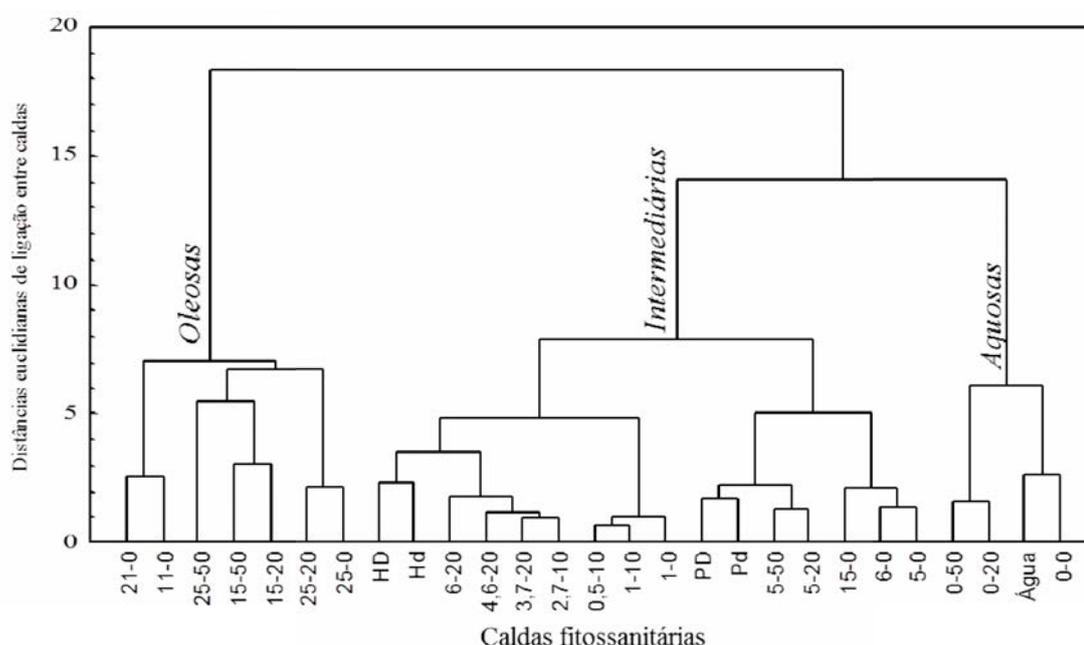


Figura 5. Dendrograma da análise de agrupamento das 27 caldas fitossanitárias pelo método hierárquico, com distâncias euclidianas entre caldas e ligação de grupos pelo método de Ward, considerando dez variáveis distintas.

As caldas que não continham adjuvantes foram designadas de “Aquosas” e agruparam-se no lado direito do dendrograma (Figura 5). Essas caldas, embora apresentassem a dosagem de fungicida, com ou sem a mistura do sulfato de manganês, foram as que mais se assemelharam com o controle (água), em relação às demais caldas contendo adjuvantes.

No outro extremo do dendrograma, encontram-se as caldas com maiores concentrações do adjuvante óleo mineral e foram denominadas de “oleosas” (Figura

5). Essas caldas assemelharam-se, independentemente da adição ou não do fungicida e sulfato de manganês.

As caldas com menores concentrações de óleo e com os adjuvantes heptametiltrisiloxano e fosfatidilcolina ficaram no centro do dendrograma e foram denominadas de “Intermediárias”, com características mais próximas das caldas “aquosas” em relação às “oleosas” (Figura 5).

Definidos os três grupos, as caldas, foram agrupadas pelo método não-hierárquico de K-means e ficaram praticamente distribuídas da mesma forma entre os grupos “aquosas”, “oleosas” e “intermediárias” (Figura 6).

O grupo das caldas “aquosas” continuou com as quatro caldas sem adjuvantes, ao passo que a calda 11-0, anteriormente no grupo das “oleosas”, foi agrupada entre as caldas “intermediárias” por essa análise de agrupamento (Figura 6). Dessa forma, o grupo “oleosas” compreendeu caldas com concentrações de óleo mineral entre 15 e 25%, independente dos demais componentes presentes na calda (Figura 6).

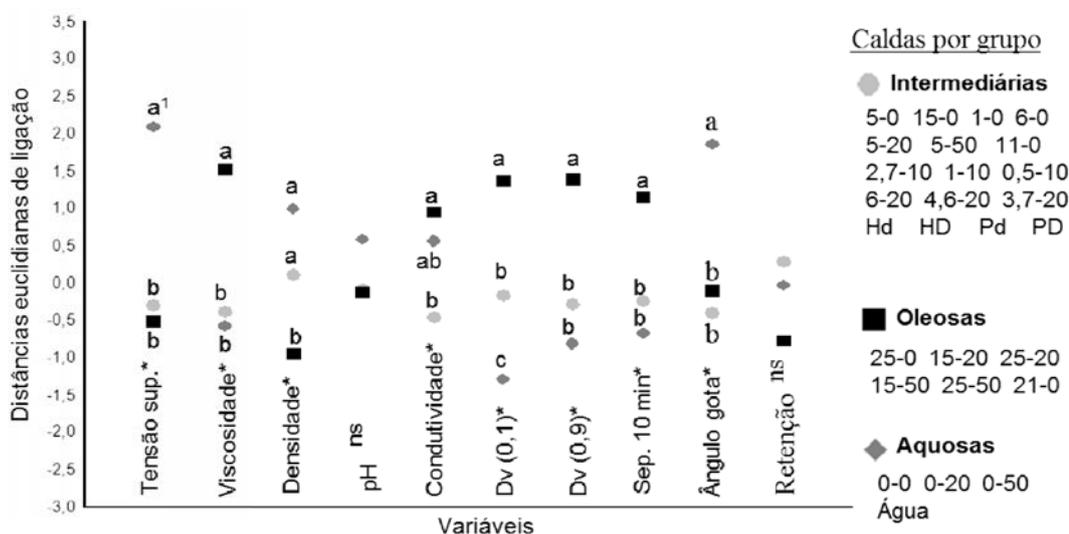


Figura 6. Projeção da análise de agrupamento das 27 caldas fitossanitárias em três grupos (aquosas, oleosas e intermediárias), pelo método não-hierárquico “K-means” e usando-se a matriz de distância euclidiana, considerando as variáveis distintas. *Diferença significativa entre grupo para a variável. ^{ns}Grupos não diferem entre si pela análise de variância. ¹Grupos em cada variável seguidos por letras minúsculas diferentes na vertical diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

As caldas “aquosas” tiveram características em comum como alta tensão superficial, densidade e ângulo de contato de gotas nas folhas de citros, sendo essas variáveis significativamente maiores, em comparação aos demais grupos (Figura 6). No entanto, apresentaram a menor viscosidade e os menores diâmetros de gotas pulverizadas.

Quando da adição de pequenas concentrações de óleo mineral, há rápido efeito na diminuição da tensão superficial até que se atinja o ponto de máxima concentração micelar para esse adjuvante (DECARO JUNIOR et al., 2014; IOST; RAETANO, 2010). Acima dessa concentração na calda, não há maiores reduções no valor de tensão superficial.

Com relação à viscosidade, quanto maior foi a concentração de óleo mineral, maior foi seu valor, verificado com o grupo das caldas “oleosas” que foram significativamente diferentes dos demais grupos (Figura 6). A presença de fungicida e sulfato de manganês não influenciou o valor da viscosidade.

O uso de concentrações crescentes desse adjuvante diminuiu significativamente a densidade das caldas no grupo “oleosas”, uma vez que a densidade do óleo é bem menor em relação à da água (Figura 6). Embora o sulfato de manganês seja mais pesado em relação à água e ao óleo, as dosagens adicionadas às caldas desse grupo elevaram a condutividade elétrica, mas não foram suficientes para aumentar a densidade.

Com as altas concentrações de óleo no grupo “oleosas”, houve influência significativa na estabilidade das caldas, com rápida separação (aos 10 minutos) do adjuvante em detrimento dos demais componentes da calda, por ser menos denso. Essa variável é de suma importância por fornecer informações práticas sobre qual o melhor sistema de agitação de calda de pulverizadores, conforme a calda fitossanitária utilizada (CUNHA; ALVES, 2009). Na situação do experimento, as caldas do grupo “oleosas” exigiram agitação constante e com maior intensidade, em relação ao uso de caldas dos demais grupos.

Para as variáveis pH e retenção de calda por folhas de citros pulverizadas, nenhuma diferença significativa foi observada entre os três grupos, por meio da análise de variância (Figura 6).

O uso de adjuvantes, nas concentrações usualmente empregadas a campo, modifica significativamente a maioria das variáveis avaliadas, conforme observado para o grupo das caldas “intermediárias” em detrimento do grupo de caldas “Aquosas”. Isto corrobora com trabalhos em que os adjuvantes modificam praticamente todas as variáveis da pulverização, no entanto, de modo específico em cada uma delas (CUNHA; ALVES, 2009; DECARO JUNIOR et al., 2014; FERREIRA et al., 2013; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012).

No grupo “Intermediárias”, as caldas foram consideradas similares, mesmo havendo três adjuvantes diferentes entre elas. Essa similaridade muitas vezes confunde o agricultor na tomada de decisão sobre qual o melhor adjuvante e sua concentração para determinada situação. Dessa forma, a escolha do adjuvante deve se basear na característica que mais precisa ser modificada no momento da aplicação, seja por modificações físicas na calda, no transporte de gotas ou no depósito das mesmas em superfícies vegetais.

3.2. RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DAS CALDAS FITOSSANITÁRIAS

Cada uma das dez variáveis representa uma dimensão que condiciona respectiva característica à determinada calda fitossanitária. Na abordagem multivariada por meio da análise de componentes principais, foram escolhidos três fatores mais representativos, que corresponderam ao número de autovalores maiores ou iguais a 1, segundo critério de Kaiser (Figura 7).

A interação entre os fatores mais representativos Fator 1 x Fator 2 mostra que as caldas “aquosas” tiveram os maiores valores de tensão superficial, ângulo de contato de gotas e densidade, por estarem mais próximas das retas dessas variáveis na projeção da Figura 7A. As caldas contendo adjuvantes ficaram mais distantes dessas variáveis e, quanto maior foi a concentração do óleo mineral, mais para a esquerda ficaram posicionadas as caldas. Estas tiveram os maiores valores de viscosidade, diâmetros de gotas pulverizadas e separação de calda (Figura 7A).

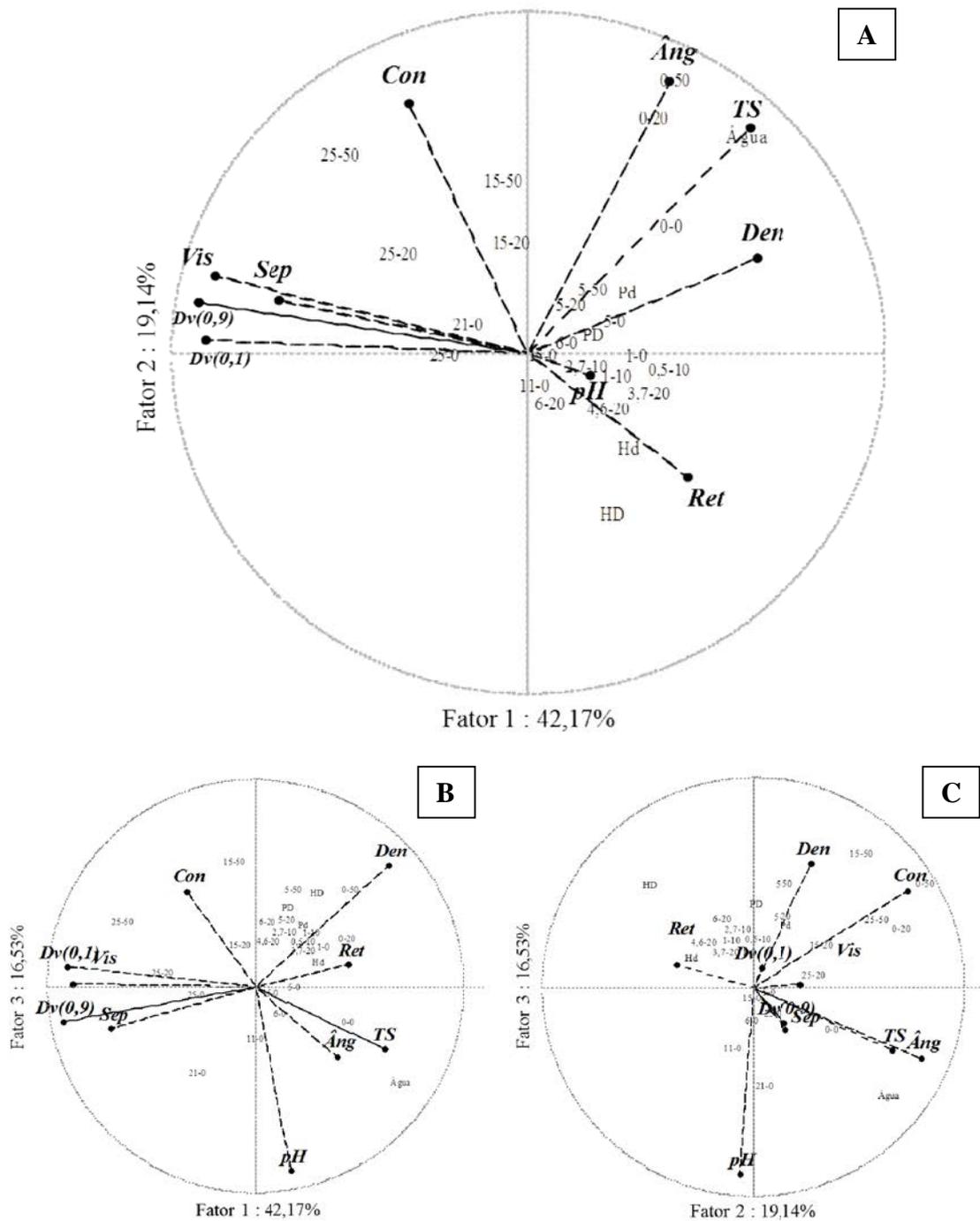


Figura 7. Projeção da interação entre variáveis de 27 caldas fitossanitárias pela análise de componentes principais, combinando-se os três fatores mais significativos, seguindo-se o critério de Kaiser. A. Projeção entre os fatores com a maior representatividade (61,31%) da interação entre variáveis. B. Projeção com 58,7% de representatividade. C. Projeção com 35,67% de representatividade.

De acordo com a análise de fatores, os maiores coeficientes do Fator 1 demonstram o efeito das variáveis viscosidade, $Dv(0,1)$, $Dv(0,9)$, densidade e separação de calda (Tabela 2). Houve correlação positiva entre as variáveis viscosidade e diâmetros de gotas pulverizadas $Dv(0,1)$ e $Dv(0,9)$, de modo que qualquer aumento na ou diminuição em uma dessas variáveis acompanha igual efeito nas demais (Tabela 2). Esse comportamento do aumento no diâmetro de gotas com o aumento da viscosidade foi observado em outros trabalhos utilizando-se diferentes caldas (CUNHA; ALVES, 2009; MATUO; NAKAMURA; ALMEIDA, 1989; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012; SPANOGHE et al., 2007). Ainda neste fator, observa-se correlação negativa entre a variável densidade e separação (10 min).

Tabela 2. Correlação existente entre as variáveis das caldas fitossanitárias, pela análise de componentes principais, bem como seus coeficientes, por meio da análise de fatores (rotação biquartimax normalizada), considerando-se os três componentes principais mais representativos.

Variável	Correlações			Coeficientes		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Tensão Superficial	0,62	0,66*	-0,30	0,01	0,42*	-0,03
Viscosidade	-0,88*	0,22	0,01	0,23*	0,02	0,06
Densidade	0,64*	0,27	0,58	-0,16	0,05	0,37
Ph	0,17	-0,07	-0,90*	0,05	0,18	-0,51*
Condutividade	-0,34	0,73	0,46*	0,14	0,20	0,41*
$Dv(0,1)$	-0,90*	0,03	0,09	0,19*	-0,08	0,07
$Dv(0,9)$	-0,92*	0,15	-0,17	0,25*	0,02	-0,05
Separação (10 min)	-0,70*	0,15	-0,20	0,20*	0,05	-0,07
Ângulo de contato	0,39	0,80*	-0,34	0,08	0,46*	-0,02
Retenção de calda	0,45	-0,37	0,10	-0,17	-0,15	-0,03

*Valores das variáveis relevantes dentro de cada fator.

Essas correlações verificadas no fator 1 também foram observadas nas projeções de componentes principais da Figura 7A, em que a proximidade entre retas das variáveis indica correlação positiva, ao passo que, para retas distantes, há correlação negativa.

A elevação da viscosidade faz com que a calda ao ser pulverizada na saída da ponta produza uma lâmina de líquido mais espessa e curta (MILLER; BUTLER-ELLIS, 2000; VARGAS; ROMAN, 2006). Como resultado, estes autores encontraram maiores diâmetro de gotas produzidas por pontas de pulverização, similar aos resultados obtidos neste experimento.

A viscosidade das caldas associou-se diretamente à concentração do adjuvante óleo mineral que, por sua vez, proporciona menor densidade à calda, separando-se rapidamente, ficando acima das moléculas de água e demais componentes, caso não haja agitação constante.

Observa-se que as caldas “intermediárias”, que contêm os adjuvantes heptametiltrisiloxano (Hd e HD) e fosfatidilcolina (Pd e PD), bem como as menores concentrações de óleo mineral, tiveram as maiores retenções de líquido por cm^2 de área foliar de citros (Figuras 7A, 7B e 7C). Essa variável se correlacionou positivamente com a tensão superficial e ângulo de contato no Fator 1 e negativamente no Fator 2.

As caldas “aquosas”, por possuírem características de elevada tensão superficial, conseqüentemente formam gotas com elevado ângulo de contato sobre a superfície foliar, o que, teoricamente, aumentaria a retenção de líquidos, pela maior força de ligação entre moléculas. No entanto, o formato mais esférico das gotas mantém uma pequena superfície de volume em contato com a folha, fazendo com que se desprendam mais facilmente da superfície foliar pelo efeito da força da gravidade, resultando em menor retenção, em comparação às caldas “intermediárias”.

Para as caldas “oleosas”, com baixo valor de tensão superficial e ângulo de contato de gotas, há um maior recobrimento da superfície foliar de citros, formando um filme de líquido sobre a folha, o que, conseqüentemente, intensifica o escorrimento de calda, resultando em baixa retenção em comparação às caldas “intermediárias”.

A interação Fator 1 x Fator 3 proporciona 58,7% de representatividade das relações entre variáveis e mostrou que as caldas “aquosas”, seguidas pelas “intermediárias”, tiveram os maiores valores de tensão superficial e ângulo de contato de gotas, por estarem mais próximas das retas dessas variáveis na projeção da Figura 4B. As caldas “oleosas”, por sua vez, ficaram novamente ao lado das retas de viscosidade, diâmetros de gotas e separação de calda, significando maiores valores para essas variáveis, e opostas à reta da densidade (Figura 7B).

Na interação Fator 2 x Fator 3, houve baixa representatividade das interação entre variáveis, no valor de 35,67% (Figura 7C). As caldas “aquosas” ficaram

novamente mais próximas das retas das variáveis tensão superficial e ângulo de contato de gotas, enquanto as “oleosas” se aproximaram da reta da viscosidade (Figura 7C).

Com as projeções na Figura 7, buscou-se ilustrar as interações entre dez variáveis, ou seja, dez dimensões, em uma projeção com somente duas dimensões. Embora a representatividade das relações tenha diminuído entre as combinações, observa-se um padrão de correlação positiva entre as variáveis tensão superficial e ângulo de contato. Da mesma forma, houve padrão de correlação positiva entre as variáveis viscosidade, $Dv(0,1)$, $Dv(0,9)$ e negativa entre densidade e separação da calda (Figura 7).

Conforme a análise de fatores, os maiores coeficientes do Fator 2 demonstram o efeito pronunciado das variáveis tensão superficial e ângulo de contato de gotas, bem como a forte correlação positiva entre elas (Tabela 2). A mesma correlação foi encontrada em outros trabalhos (DECARO JUNIOR et al., 2014; TANG; DONG; LI, 2008; XU et al., 2011).

Alto valor de tensão superficial significa que as moléculas estão unidas por ligações relativamente fortes como pontes de hidrogênio. Quanto mais fortemente estiverem unidas as moléculas de uma calda, mais esférico será o formato de suas gotas sobre folhas de citros, ou seja, com maior ângulo de contato. Isso se dá porque as moléculas da periferia da gota tendem a se orientar para as moléculas em seu interior, quanto maior for essa força de ligação (IOST; RAETANO, 2010).

De acordo com o Fator 3, podemos observar os maiores coeficientes para as variáveis pH e condutividade das caldas, havendo correlação negativa entre elas (Tabela 2). Quando foi adicionado sulfato de manganês às caldas, esse sal aumentou consideravelmente a condutividade. Dentre os íons liberados em água, pela dissolução de sulfato de manganês, o SO_4^{2-} não sofre hidrólise e não se liga a átomos H^+ , ao passo que o Mn^{2+} sofre hidrólise e se une a radicais hidroxila, diminuindo o valor de pH das caldas. Por esse motivo, ao passo que a variável condutividade aumentou, o valor de pH das caldas diminuiu.

A variação no valor de pH das caldas, em decorrência do sulfato de manganês, pode influenciar na eficácia de determinados produtos adicionados no tanque do pulverizador e que requerem uma faixa ideal de pH para que suas

moléculas não sofram dissociação e possam ser depositadas nas folhas em sua forma ideal (MINGUELA; CUNHA, 2010).

Além do uso de sulfato de manganês, também há a influência das caldas contendo o adjuvante fosfatidilcolina que, em sua composição, possui ácido propiônico que, em água se dissocia e libera íons H^+ . Em condição de pH baixo, os íons H^+ livres aumentam a condutividade elétrica da calda.

É possível verificar, à partir das três interações entre fatores, que a reta da variável $Dv(0,9)$ esteve sempre mais próxima da reta da tensão superficial em comparação à reta da variável $Dv(0,1)$ (Figura 7). Essa característica é melhor observada por meio dos fatores 2 e 3, em que houve pequena correlação positiva entre a tensão superficial e $Dv(0,9)$, diferentemente da variável $Dv(0,1)$ (Tabela 2). Isso significa pequeno efeito da tensão superficial na variável $Dv(0,9)$, ou seja, influenciando somente as gotas de maior diâmetro no espectro pulverizado pela ponta. A diminuição da tensão superficial diminuiu o tamanho das gotas de maior diâmetro [$Dv(0,9)$], ao passo que não influenciou no diâmetro das gotas mais finas [$Dv(0,1)$] (Tabela 2). Ainda assim, ambos os diâmetros foram majoritariamente influenciados por alterações na viscosidade das caldas (Figuras 7A, 7B e 7C).

Variáveis como densidade e condutividade são importantes para definir a estabilidade da calda fitossanitária no tanque do pulverizador (CUNHA; ALVES, 2009). As caldas do grupo “aquosa”, que contêm altas concentrações de $MnSO_4$, apresentaram densidade próxima de 1 e alta condutividade, proporcionada pelos íons SO_4^{2-} e Mn^{2+} . Esta variável se correlacionou negativamente com a estabilidade da calda aos 10 minutos (Figura 8A).

O ângulo de contato de gotas sobre a superfície de folhas de citros é dependente da tensão superficial da calda, de modo que quanto menor for esta última, menor será o ângulo da gota e maior espalhamento ocorrerá (Figura 8B).

O aumento da condutividade até aproximadamente 8 mS cm^{-1} resultou em pequeno aumento na variável ângulo de contato. No entanto, para condutividades acima desse valor, houve decréscimo no ângulo de contato das gotas, independente do valor de tensão superficial da calda. Portanto, a relação entre condutividade e ângulo de contato tem comportamento quadrático (Figura 8B).

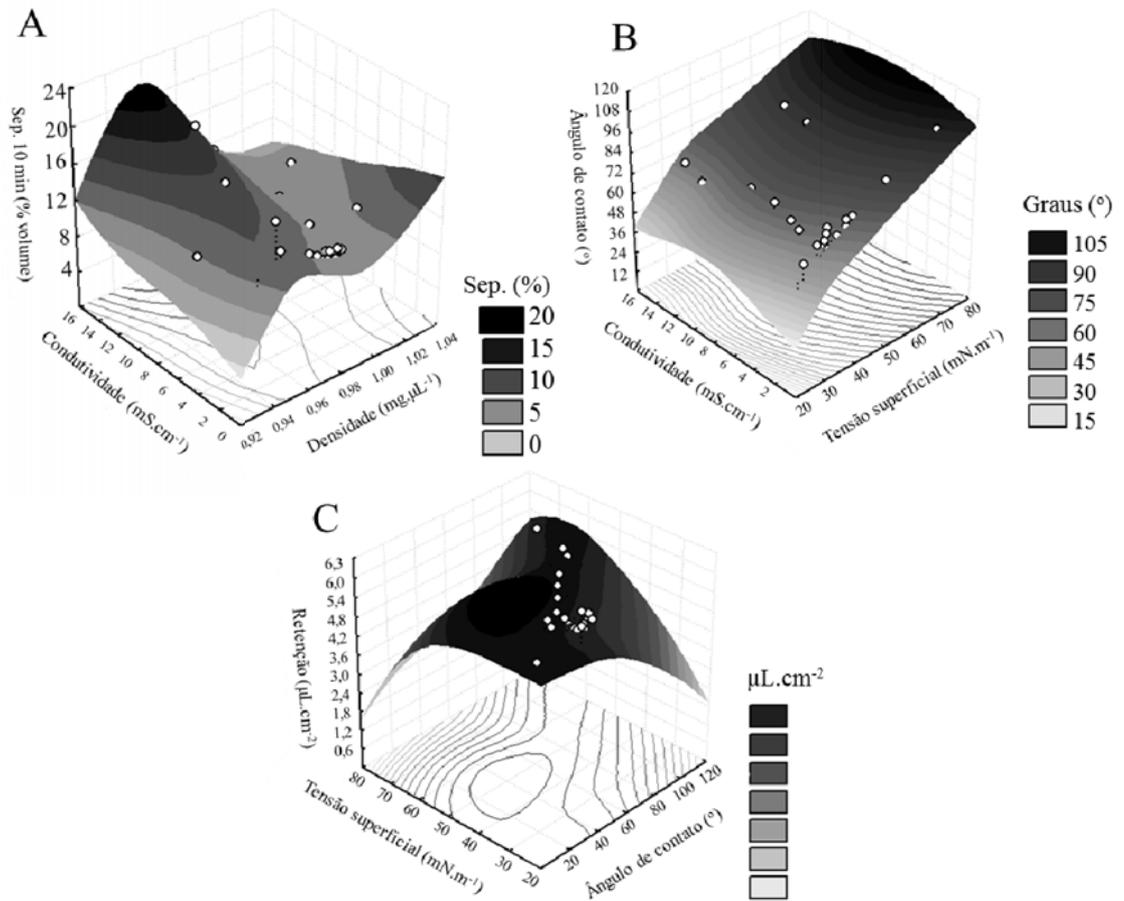


Figura 8. Projeções da relação entre três variáveis, considerando-se 27 caldas fitossanitárias. A. Influência da condutividade e densidade na separação dos componentes da calda após 10 minutos de seu preparo. B. Influência da condutividade e tensão superficial da calda no ângulo de contato de gotas pulverizadas e depositadas sobre a superfície de folhas de citros. C. Influência da tensão superficial e ângulo de contato de gotas na retenção de calda por folhas de citros.

A retenção de calda nas folhas de citros está diretamente correlacionada com o ângulo de contato das gotas depositadas e, conseqüentemente, à tensão superficial (Figura 8C), corroborando com Gaskin et al. (2010). As características que possibilitariam as maiores retenções seriam tensão superficial em torno de 45 mN m⁻¹ com ângulo de gotas em torno de 40° sobre a folha de citros. Em tensões maiores, as gotas tomariam formato mais esférico e aumentaria seu desprendimento da folha, ao passo que em tensões menores, haveria intenso espalhamento da gota e escorrimento da calda, conforme explicado anteriormente (Figura 8C).

4. CONCLUSÃO

As caldas fitossanitárias apresentam similaridades mesmo usando diferentes adjuvantes como óleo mineral, fosfatidilcolina e heptametiltrisiloxano, de modo que somente diferem entre si quando do não uso de adjuvantes ou quando os mesmos são utilizados sob concentrações muito altas na calda. Dessa forma, a escolha de determinado adjuvante deve pressupor efeito em várias variáveis na calda, optando por produtos que tenham efeito mais pronunciado na variável de interesse agrônômico.

Quanto maior é a viscosidade da calda, maiores são os diâmetros de gotas produzidas pela ponta de jato plano. No entanto, aumentos significativos na viscosidade somente são conseguidos usando-se altas concentrações do adjuvante óleo mineral.

A tensão superficial está positivamente correlacionada ao ângulo de contato de gotas na superfície foliar de citros. Essas duas variáveis tem relação quadrática com a retenção de calda pelas folhas de citros.

O conhecimento de correlações de variáveis de uma calda de pulverização possibilita prever características importantes para a eficácia de aplicações.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. J. de; FERREIRA, M. C.; SANTOS, N. C. dos; Efeito da adição de óleos ao acaricida cyhexatin sobre o ácaro *Brevipalpus phoenicis* e na retenção de calda por folhas de citros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 4, p. 1055 – 1063, 2010.
- CUNHA, J. P. A.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 10, p. 977 - 85, 2004.
- CUNHA, J. P. A. R. da; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. *Interciência*, v. 34, n. 9, p. 655 - 659, set 2009.
- DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantation. *Aspects of Applied Biology*, v. 122, p. 415-422, 2014.
- FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO, L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, p. 1431-1440, 2013.
- GASKIN, R. E.; HORGAN, D. B.; VAN LEEUWEN, R. M.; MANKTELOW, D. W. Adjuvant effects on the retention and uptake of spirotetramat insecticide sprays on kiwifruit. *New Zealand Plant Protection*, v. 63, p. 60-65, 2010.
- HARTIGAN J A. **Clustering algorithms**. New York: Wiley, 1975.
- IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatante em superfícies artificiais e naturais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.4, p.670-680, 2010.
- LEFEBVRE, A.H. **Atomization and sprays**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. 421 p.
- MATUO, T.; NAKAMURA, S. H.; ALMEIDA, A. Efeito de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. *Summa Phytopathologica*, v. 15, p. 163 – 173, 1989.
- MILLER, P. C. H.; BUTLER-ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, v. 19, n. 8, p. 609- 615, 2000.
- MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010. v. 1. 588p.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNNIASSI, U. R. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 138 – 149, jan/mar 2012.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B.; SANTIAGO, H.; MACIEL, C. F. S. Spectrum of droplets produced by use of adjuvants. **Idesia**, Chile, v. 31, n. 1, p.27 – 33, jan/abril, 2013.

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

TANG, X.; DONG, J.; LI, X. A comparison of spreading behaviors of Silwet L-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 325, p. 223–227, 2008. DOI: [10.1016/j.jcis.2008.05.055](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.05.055)

THEBALDI, M. S.; REIS, E. F. dos; GRATÃO, P. T. S.; SANTANA, M. S. Efeito da adição de adjuvante na redução de deriva em pontas de pulverização tipo cone vazio. **Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 18, n. 2, p. 1 – 6, 2009.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10p.

VASIL'EV, A. Y.; MAIOROVA, A. I. Physical features of liquid atomization when using different methods of spraying. **High Temperature**, Rússia, v. 52, n. 2, p. 250-258, 2014.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; KRAUSE, C. R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with the type and concentration of adjuvants. **Pest Manag Sci**, United States, v. 67, p. 842–851, 2011.

CAPÍTULO 5. EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE GOTAS DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS COM ADITIVOS MINERAIS APLICADAS SOBRE FOLHAS DE LARANJEIRA

RESUMO – Os adjuvantes podem modificar as características físicas das caldas fitossanitárias, com reflexos na qualidade da distribuição das gotas e nos riscos associados à aplicação. Neste trabalho, objetivou-se avaliar concentrações de um óleo mineral em 0, 5, 15 e 25% do volume de calda, associado a sulfato de manganês, utilizado normalmente como fertilizante foliar e em pesquisas como marcador do depósito de calda, nas concentrações de 0, 20 e 50 g L⁻¹, em mistura com água e fungicida. Em equipamento tensiômetro, gotas de cada calda foram aplicadas com uma seringa e mantidas pendentes na ponta da agulha acoplada. A imagem das gotas foi capturada e avaliada ao longo do tempo para obtenção do valor de tensão superficial e volume evaporado. Gotas foram aplicadas na superfície adaxial de folhas de laranjeira e sobre uma superfície comparativa de vidro para obtenção de valores de ângulo de contato e área molhada. Os dados foram submetidos ao teste ANOVA com médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O óleo mineral pode ser utilizado em mistura nas caldas fungicidas visando diminuições no valor da tensão superficial e no ângulo de contato de gotas aplicadas tanto na superfície foliar de laranjeira como na superfície comparativa de vidro, melhorando o espalhamento das gotas. O uso do marcador sulfato de manganês não modifica a tensão superficial das caldas, porém influencia no ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície foliar e de vidro, aumentando ou diminuindo seu valor, dependendo de sua concentração e do óleo mineral. Não houve diferença significativa entre os tratamentos com relação à evaporação de gotas durante o tempo adotado no experimento.

Palavras-chave: adjuvante, ângulo de contato, área molhada, evaporação de gotas, tecnologia de aplicação

CHARPTE 5. EVAPORATION AND SPREADING OF DROPLETS FROM SPRAYING LIQUIDS WITH MINERAL ADITIVIES APPLIED ON CITRUS LEAVES

ABSTRACT – The adjuvants can modify physical characteristics of spraying liquids, reflecting on the quality of droplets distribution and the risks associated to the application. This work aimed to evaluate concentrations of a mineral oil at 0, 5, 15 and 25% of spraying liquid volume, combined with manganese sulphate, commonly utilized as foliar fertilizer and in researches as tracer for liquid deposit, at concentrations of 0, 20 and 50 g L⁻¹, mixed with water and a fungicide. In tensiometer equipment, droplets of each spraying liquid were applied with a syringe and kept on pendant form on the tip of the attached needle. The image of droplets was captured and evaluated during the time for obtaining the values of surface tension and evaporated volume. Droplets were applied on the adaxial surface of citrus leaves and on a comparative flat glass surface for reading values of contact angle and wetted area. Data were subjected to ANOVA test and averaged compared by Tukey test ($p < 0.05$). The mineral oil may be utilized, as mixed with the fungicide spraying liquid, aiming to reduce surface tension and the contact angle of droplets applied both on the citrus foliar surface and the comparative glass, improving the spreading of droplets. The use of the tracer sulphate manganese does not modify the spraying liquid surface tension, but influences the contact angle of droplets applied on the foliar and glass surfaces, increasing or decreasing its value, depending on its concentration and of mineral oil. There was not significant difference among the treatments for the evaporation of droplets during the time adopted in the experiment.

Key words: adjuvant, contact angle, wetted area, droplets evaporation, application technology

1. INTRODUÇÃO

A formação da calda em pulverizações envolve a mistura de um produto fitossanitário com um diluente, representado quase que exclusivamente por água, dada sua maior facilidade de obtenção e menor custo em comparação com outros veículos.

A água apresenta elevada tensão superficial, devido a fortes forças de ligação por pontes de hidrogênio entre suas moléculas (HEWITT, 2008). Dessa forma, as caldas fitossanitárias tendem a manter altos valores de tensão superficial, com desvantagem para as pulverizações, pelo menor espalhamento das gotas quando depositadas sobre as plantas, e com implicações sobre a eficácia, principalmente de inseticidas e fungicidas (IOST; RAETANO, 2010; VASIL'EV; MARIOROVA, 2014). Nesse sentido, as formulações de produtos fitossanitários contêm quantidades variáveis de surfatantes visando reduzir a tensão superficial das caldas.

Os surfatantes comumente reduzem a tensão superficial da calda e favorecem o espalhamento de gotas pulverizadas sobre algumas superfícies vegetais (FERREIRA et al., 2013; DECARO JUNIOR et al., 2014). Além disso, previnem contra ricocheteio de gotas no impacto de deposição e podem melhorar a retenção de calda (BUTLER ELIS; WEBB; WESTERN, 2004; ANDRADE; SKURTYS; OSORIO, 2012).

Porém, a influência dos adjuvantes depende de vários fatores, como concentração empregada, da mistura com o produto fitossanitário e sua concentração, além da própria característica e formulação do adjuvante (MENDONÇA et al., 1999).

A determinação da quantidade de líquido depositada durante pulverizações pode ser realizada com o uso de marcadores. Alguns deles são corantes e não interferem nas características de tensão superficial (PALLADINI; RAETANO; VELINI, 2005). No entanto, marcadores metálicos, que se dissociam em íons, podem apresentar interação significativa com adjuvantes surfatantes, favorecendo a redução da tensão superficial da calda (SILVA; VELINI; CORRÊA, 2006).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência de concentrações do adjuvante óleo mineral e do marcador sulfato de manganês na tensão superficial

de caldas fungicidas, evaporação de gotas e seu espalhamento sobre folhas de laranjeira e numa superfície de vidro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no laboratório do Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, do Depto. Fitossanidade da UNESP, FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP. Caldas fitossanitárias foram preparadas, mantendo-se a quantidade de 0,4 mL do fungicida azoxistrobina+difenoconazol (Amistar Top[®] - Syngenta), variando-se a concentração do adjuvante óleo mineral (Argenfrut[®]) e do sal sulfato de manganês, com 31% de Mn²⁺ (Tabela 1)

Tabela 1. Composição das caldas fitossanitárias utilizadas no experimento e condições meteorológicas no momento das medições no tensiômetro.

Calda	Fungicida (mL L ⁻¹)	Óleo mineral (% v v ⁻¹)	MnSO ₄ (g L ⁻¹)	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
Água	-	-	-	22,1 ± 0,1	47,7 ± 0,7
1	0,4	0	0	22,3 ± 0,1	52,5 ± 0,5
2	0,4	5	0	23,3 ± 0,2	55,0 ± 0,0
3	0,4	15	0	22,0 ± 0,2	46,5 ± 0,5
4	0,4	25	0	22,0 ± 0,1	47,5 ± 0,5
5	0,4	0	20	22,5 ± 0,1	52,5 ± 0,5
6	0,4	5	20	22,2 ± 0,1	45,0 ± 0,0
7	0,4	15	20	22,3 ± 0,1	48,5 ± 1,5
8	0,4	25	20	22,0 ± 0,1	50,0 ± 1,0
9	0,4	0	50	22,0 ± 0,2	52,0 ± 0,5
10	0,4	5	50	22,2 ± 0,0	46,0 ± 0,0
11	0,4	15	50	22,1 ± 0,2	50,5 ± 2,0
12	0,4	25	50	21,9 ± 0,1	46,5 ± 0,5

Alíquotas das caldas, previamente agitadas para homogeneização, foram retiradas por meio de uma seringa Hamilton de 500 µL. Esta, por sua vez, foi acoplada ao injetor automático de um equipamento tensiômetro OCA de modo que gotas com pequenos volumes foram formadas na ponta da agulha de diâmetro de 0,52 mm. A formação das gotas foi determinada pelo acionamento automático de peças móveis do injetor do tensiômetro que movimentavam o êmbolo da seringa com o objetivo de obter volumes pequenos com precisão, comandada diretamente pelo software SCA20 do equipamento.

2.1. ANÁLISE DA TENSÃO SUPERFICIAL, ÂNGULO DE CONTATO E ÁREA MOLHADA POR GOTAS

As gotas formadas pelo acionamento do injetor tiveram volumes entre 3 e 4 μL , visando evitar seu desprendimento da ponta da agulha. Sua imagem foi então capturada por uma câmera CCD de alta resolução. A imagem foi analisada utilizando-se o software SCA20, com o qual mensurou-se os valores de tensão superficial segundo a segundo, considerando a equação de Young-Laplace. Os valores de tensão superficial foram fornecidos na unidade de mN m^{-1} .

O experimento teve 12 tratamentos, representados pelas caldas, mais uma testemunha, composta por água, em quatro repetições. Em cada repetição, houve uma leitura com duração de 60 segundos, totalizando 60 valores. No início da leitura, a tensão superficial assume um valor que decresce ao longo do tempo até o equilíbrio entre as interfaces líquido/sólido/gás. Aos 30 segundos, verificou-se que a tensão superficial se estabilizou, com pequenas variações, para as caldas usadas no experimento e foi padronizado como valor útil para efeito de comparação. O delineamento foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 4×3 , com os valores de tensão superficial submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Gotas formadas na ponta da agulha, com volume padronizado de 3 μL , foram aplicadas sobre a superfície adaxial de folhas de laranjeira recém colhidas de mudas de laranjeira da variedade 'Pera Rio'. As folhas foram previamente lavadas com 100 mL de água visando somente retirar sedimentos depositados em sua superfície. O manuseio foi todo feito protegido com luvas de procedimento cirúrgico para evitar o contato do limbo foliar com a pele humana.

Após estarem secas, as folhas foram dispostas sobre uma mini prensa para que suas superfícies ficassem planas e evitassem o escorrimento da gota após sua aplicação sobre a superfície das folhas. Uma vez aplicada individualmente pela seringa do injetor, a gota foi analisada, por meio do software SCA20, em seu valor de ângulo de contato em graus e, ao mesmo tempo, o valor da área recoberta pela gota na folha em mm^2 . O tempo de leitura foi de 1 minuto visando verificar variações da gota neste período.

Uma superfície lisa de vidro, representada por uma lâmina de microscopia (Solidor[®]) foi utilizada como comparativo aos valores de ângulo de contato e área molhada pelas gotas na folha de laranjeira. A lâmina foi previamente lavada com água e detergente e, posteriormente, com álcool para retirada de maiores impurezas e, novamente, com água, e deixada para secar. Esse procedimento foi repetido entre a troca de cada calda na seringa.

As gotas aplicadas tiveram o mesmo volume em ambas as superfícies e foram utilizados 12 tratamentos, representados pelas caldas. Uma testemunha (Tabela 1), composta por água, em quatro repetições também foi analisada como comparação. Em cada repetição, houve uma leitura com duração de 60 segundos, totalizando 60 valores. Durante as leituras, variações no valor do ângulo de contato de gotas e área molhada ocorreram do início ao final dos 60 s. Dessa forma, foi padronizado o uso da média das leituras como valor absoluto da repetição, para efeito de comparação entre os tratamentos, na superfície foliar e de vidro.

O delineamento das análises foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 3, com os dados das variáveis submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Também foi analisado o efeito das 12 caldas na porcentagem de redução do ângulo de contato das gotas após a aplicação sobre a folha de laranjeira e o vidro. O esquema foi fatorial 13 (12 caldas mais água como comparativo) x 3 (aos 5, 30 e 60 segundos), em quatro repetições, considerando a variável porcentagem de redução do ângulo à partir da aplicação da gota nas superfícies.

A interação entre as variáveis tensão superficial e ângulo de contato das gotas, bem como entre o ângulo de contato e área molhada, foram verificadas pelo cálculo de correlação linear de Pearson.

2.2. EVAPORAÇÃO DE GOTAS

Gotas pendentes das 12 caldas fungicidas com volume de 1,767 μL foram formadas na ponta da agulha e mensuradas em seu diâmetro, de forma que seu volume foi fornecido segundo a segundo até 180 segundos. Esse tempo foi padronizado uma vez que, acima do qual, gotas de algumas caldas diminuam de

tamanho e interagiam com a ponta da agulha, sofrendo deformações que impediam a leitura de seu volume pelo software SCA20. As variações no formato da gota refletiram em reduções em seu volume no decorrer da leitura. O volume padronizado de 1,767 μL foi determinado visando simular o comportamento de uma gota pulverizada com o diâmetro de 1500 μm , abaixo do qual, houve dificuldade de manter a gota em formato esférico e sem interagir com a ponta da agulha, impedindo a leitura pelo software.

O experimento foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 (concentrações de óleo) x 3 (dosagens de MnSO_4) mais tratamento adicional (representado por água) em quatro repetições. Cada repetição teve 180 leituras e, foram consideradas as diferenças no volume (μL) da gota entre o primeiro segundo e aos 30, 60 e 180 segundos seguintes. Essa diferença foi convertida em porcentagem de evaporação da gota. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Entre as variáveis tensão superficial e porcentagem de evaporação foi feito o cálculo de correlação linear de Pearson, a fim de verificarmos a relação existente entre essas variáveis.

Durante as leituras de evaporação das gotas, as condições de temperatura e umidade relativa do ar foram mensuradas em todas as quatro repetições na leitura de cada calda fitossanitária (Tabela 1). A fim de verificar o efeito de variações na umidade relativa e temperatura do ar nos resultados do experimento, foi feito cálculo de correlação linear de Pearson entre a umidade relativa e a porcentagem de evaporação, bem como entre a temperatura e a porcentagem de evaporação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TENSÃO SUPERFICIAL, ÂNGULO DE CONTATO E ÁREA MOLHADA POR GOTAS

A adição de concentrações de óleo mineral nas caldas fungicidas teve efeito significativo na redução da tensão superficial (Tabela 2). As caldas fungicidas sem mistura com o óleo mineral apresentaram maior média de tensão superficial, com redução significativa quando do uso desse adjuvante em 5, 15 e 25% (v.v⁻¹) (Tabela 2). Estas concentrações na calda diminuíram significativamente a tensão superficial, com médias não diferindo significativamente entre si. Resultados similares são relatados na literatura, para caldas com outros adjuvantes e em outras concentrações (IOST; RAETANO, 2010; XU et al., 2011; FERREIRA et al., 2013).

A formação de micelas pelas moléculas do óleo mineral na calda fungicida atuou como ponte entre moléculas de água e do fungicida, substituindo ligações fortes, representadas por pontes de hidrogênio, por ligações de menor energia, o que, por consequência, reduz a tensão superficial da calda (XU et al., 2011).

A adição do marcador sulfato de manganês às caldas não interferiu significativamente nos valores médios de tensão superficial e não houve interação significativa entre as dosagens avaliadas e os volumes de óleo adicionados às caldas (Tabela 2). Resultados diferentes foram encontrados por Silva, Velini e Corrêa (2006), em que íons Mg, Ca, Fe, Cu e Zn, em várias concentrações, diminuíram significativamente os valores de tensão superficial de caldas contendo o surfatante aterbane.

A análise feita com água pura apresentou média de tensão superficial de 71,27 mN m⁻¹ aos 30s da leitura, na temperatura de 22,3°C. A calda contendo somente fungicida, em relação à água pura, apresentou redução significativa na tensão superficial para 53,51 mN m⁻¹, devido a esse produto fitossanitário conter em sua composição adjuvantes específicos com propriedades surfatantes.

De toda forma, outros autores também já verificaram que a adição de produtos fitossanitários para formação de caldas, via de regra implica em menores

tensões superficiais do líquido formado, em relação à da água (LASMAR et al., 2012).

Tabela 2. Características físicas de gotas pendentes formadas por caldas fungicidas contendo doses crescentes de óleo mineral e sulfato de manganês e de gotas aplicadas sobre a superfície de folhas de laranjeira e de vidro.

% Óleo	Tensão Superficial (mN m ⁻¹)	Ângulo de contato (°)		Área molhada (mm ²)	
		Folha	Vidro	Folha	Vidro
0	54,11 a ¹	84,98 a	37,21 a	8,44 b	13,29 a
5	31,48 b	52,39 b	26,70 b	10,81 a	14,74 a
15	31,25 b	49,45 b	10,22 c	7,61 b	15,11 a
25	29,84 b	47,96 b	14,13 c	7,79 b	15,23 a
DMS (5%)	2,64	1,59	5,12	2,33	2,69
MnSO ₄ (g L ⁻¹)	(mN m ⁻¹)	(°)	(°)	(mm ²)	(mm ²)
0	36,72 a	57,82 b	15,99 b	8,07 a	15,56 a
20	36,79 a	63,81 a	25,34 a	8,21 a	13,43 b
50	36,50 a	54,46 b	24,87 a	9,71 a	14,78 ab
DMS (5%)	2,07	1,37	4,03	1,83	2,11
CV (%)	6,54	9,36	21,11	24,45	16,74

¹Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O uso do óleo mineral e do MnSO₄ adicionados à caldas, bem como a interação destes tratamentos resultaram em efeito significativo no ângulo de contato de gotas aplicadas em ambas as superfícies de folhas de laranjeira e de vidro (Tabela 2 e Figura 1).

A adição somente do óleo mineral às caldas fungicidas diminuiu significativamente o ângulo de contato de gotas aplicadas sobre a superfície de folhas de laranjeira em todas as concentrações, com as menores médias verificadas com 15 e 25% (v v⁻¹) do adjuvante (Figura 1). Estes resultados concordam com demais trabalhos que utilizaram adjuvantes à base de óleo e tiveram menores valores de ângulo de contato de gotas em superfícies foliares de diferentes plantas (IOST; RAETANO, 2010; GIMENES et al., 2013; DECARO JUNIOR et al., 2014).

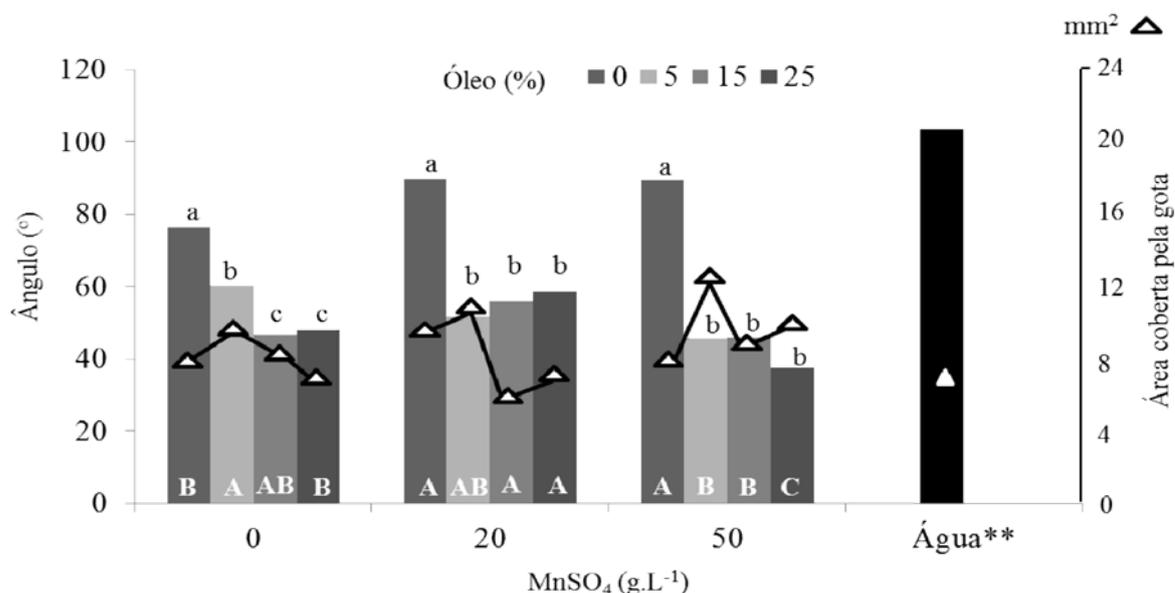


Figura 1. Projeção das médias de ângulo de contato e área molhada por gotas aplicadas na superfície de folhas de laranjeira, durante 60s. Letras minúsculas acima das colunas diferenciam as porcentagens de óleo dentro de cada dose de MnSO₄ e letras maiúsculas na base das colunas diferenciam as doses de MnSO₄ em cada porcentagem de óleo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). **Tratamento significativamente diferente dos demais.

Na superfície de vidro, utilizada como comparativo, o uso do óleo reduziu significativamente o ângulo de contato das gotas somente nas concentrações de 15 e 25%, com médias iguais (Figura 1). A concentração de 5% de óleo não reduziu consideravelmente o ângulo de contato das gotas, resultando em média igual a da calda sem o adjuvante.

Na superfície foliar de laranjeira, gotas somente contendo água ficaram delimitadas com média de ângulo de contato de 103°, ou seja, maiores que 90°, caracterizando a folha em superfície lipofílica ou hidrofóbica (IOST; RAETANO, 2010) (Figuras 1 e 2). Diferentemente, a superfície de vidro naturalmente apresentou caráter hidrofílico, uma vez que gotas de água tiveram média de ângulo de contato de 19° (Figuras 3 e 4). Portanto, a característica da superfície foi determinante na formação do ângulo de contato das gotas em resposta a adição do adjuvante óleo mineral.

Na superfície de vidro, utilizada como comparativo, o uso do óleo reduziu significativamente o ângulo de contato das gotas somente nas concentrações de 15 e 25%, com médias iguais (Figura 1). A concentração de 5% de óleo não reduziu

consideravelmente o ângulo de contato das gotas, resultando em média igual a da calda sem o adjuvante.

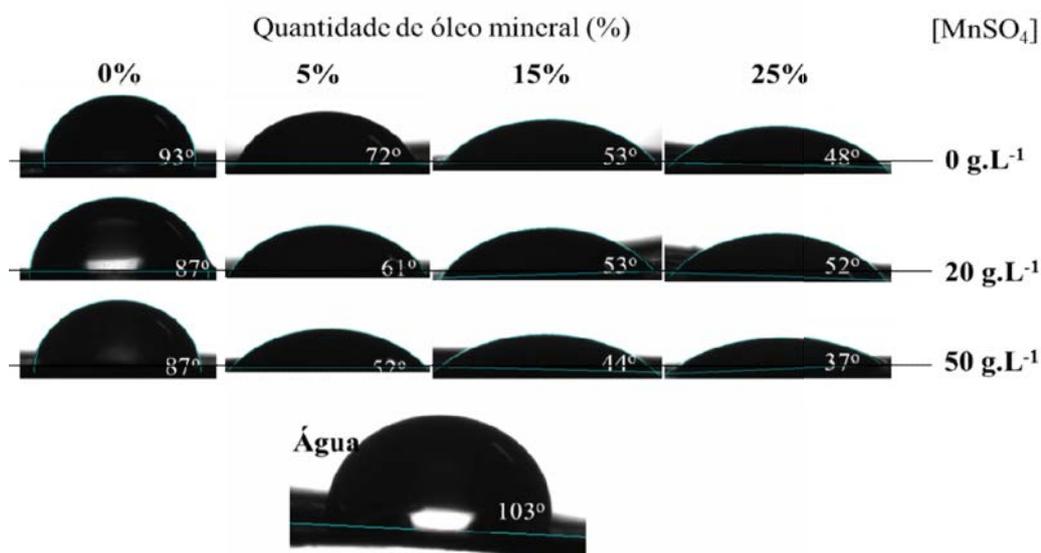


Figura 2. Ângulo de contato de gotas sobre a superfície de folhas de laranjeira 10 segundos após a aplicação, usando-se caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de MnSO₄. Imagens obtidas em equipamento Tensiômetro OCA.

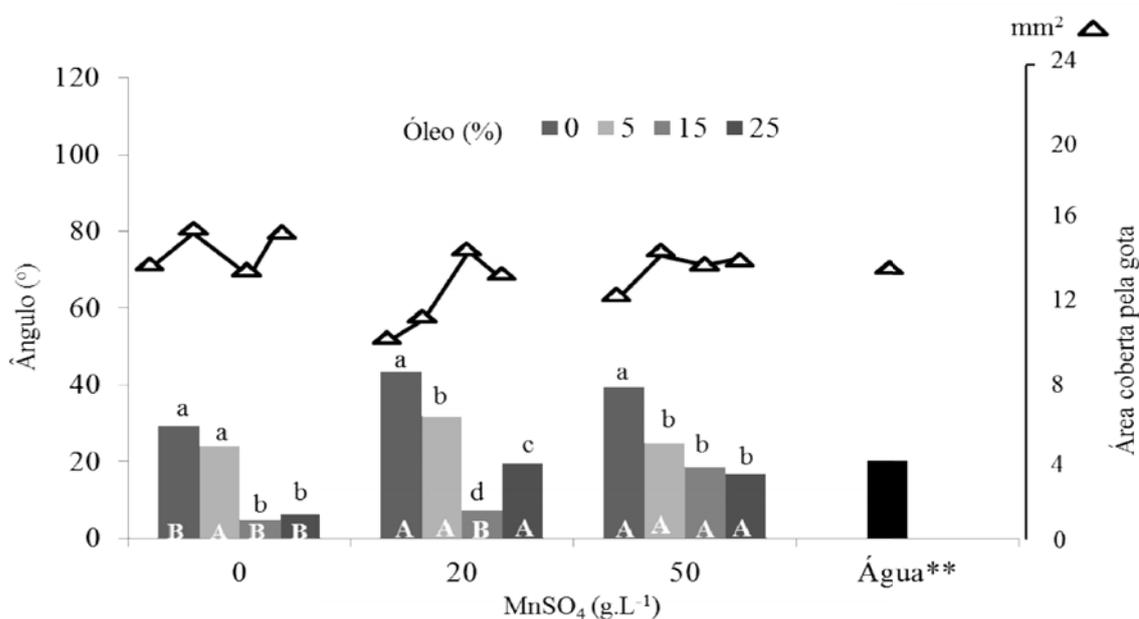


Figura 3. Projeção das médias de ângulo de contato e área molhada por gotas aplicadas na superfície de vidro, durante 60s. Letras minúsculas acima das colunas diferenciam as porcentagens de óleo dentro de cada dose de MnSO₄ e letras maiúsculas na base das colunas diferenciam as doses de MnSO₄ em cada porcentagem de óleo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). **Tratamento significativamente diferente dos demais.

Na superfície de vidro, utilizada como comparativo, o uso do óleo reduziu significativamente o ângulo de contato das gotas somente nas concentrações de 15 e 25%, com médias iguais (Figura 1). A concentração de 5% de óleo não reduziu consideravelmente o ângulo de contato das gotas, resultando em média igual a da calda sem o adjuvante.

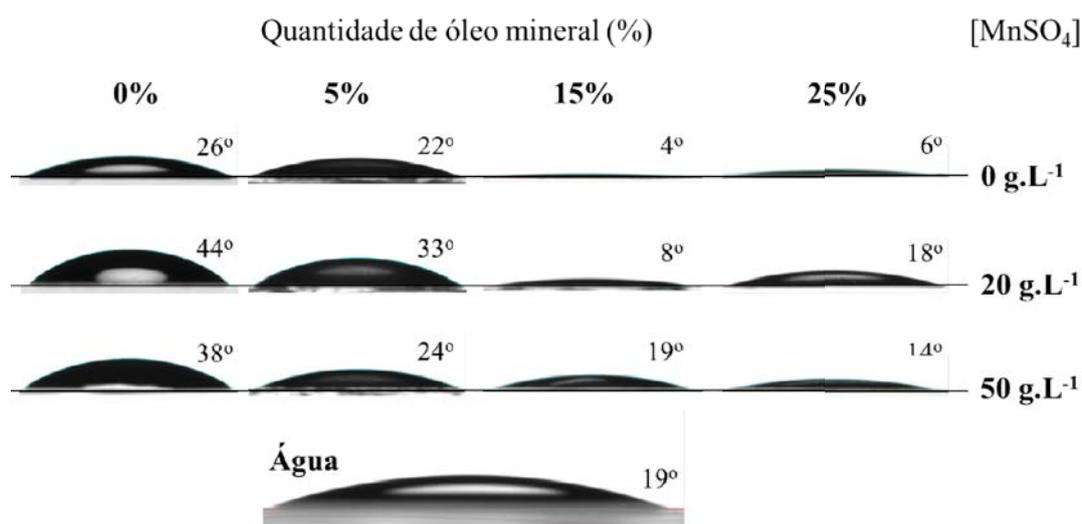


Figura 4. Ângulo de contato de gotas sobre a superfície de vidro 10 segundos após a aplicação, usando-se caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de MnSO₄. Imagens obtidas em equipamento Tensiometro OCA.

Quando da adição somente do fungicida, o ângulo de contato das gotas decresceu para 76,39°, melhorando significativamente a afinidade da folha com a calda (Figuras 2 e 3). Yu et al. (2009) também verificou que a adição de inseticidas à calda, sem a presença de adjuvantes, foi suficiente para reduzir o ângulo de contato de gotas aplicadas em diferentes superfícies, melhorando seu espalhamento. No entanto, para a superfície hidrofílica de vidro, a adição somente do fungicida à calda não influenciou significativamente no ângulo de contato de gotas aplicadas em comparação às gotas de água (Figura 4). Isto denota que houve aumento da afinidade da gota com a folha de laranjeira, além do efeito na tensão superficial da calda.

Por meio do cálculo de correlação linear de Pearson, observa-se que na superfície hidrofóbica, representada pelas folhas de laranjeira, o ângulo de contato

de gotas é altamente depende do valor de tensão superficial da calda, com correlação positiva de 0,96. Quanto mais hidrofóbica é determinada superfície, mais repelidas serão as gotas de caldas aquosas aplicadas, de modo a assumirem o formato esférico, com ângulos de contato acima de 90°. Esse maior ou menor ângulo, por sua vez, dependerá da força de ligação entre as moléculas do líquido na gota, representada pela tensão superficial. Portanto, será regra que os surfatantes adicionados à calda, sejam oriundos do próprio produto fitossanitário ou de algum adjuvante adicionado diretamente ao tanque, capazes de reduzir sua tensão superficial, também diminuirão o ângulo de contato das gotas aplicadas sobre superfícies hidrofóbicas, como é o caso da folha de laranjeira.

Com a redução na tensão superficial e aumento no espalhamento de gotas, a cobertura nas folhas de laranjeira por gotas é melhorada durante a pulverização. Isso incrementa sua eficiência e possibilita a adoção de menores volumes de aplicação em vez dos altos volumes comumente aplicados na cultura, mantendo a qualidade no tratamento.

Com a redução na tensão superficial e aumento no espalhamento de gotas, a cobertura nas folhas de laranjeira por gotas melhorou. Isso incrementa sua eficiência e possibilita a adoção de menores volumes de aplicação em vez dos altos volumes comumente aplicados na cultura, mantendo a qualidade no tratamento.

Na superfície hidrofílica de vidro, a correlação existente entre tensão superficial e ângulo de contato também foi positiva, porém com o valor inferior de 0,51. Isso porque, essa superfície naturalmente tem afinidade por gotas de caldas aquosas, de modo que a diminuição do ângulo da gota não depende tão intensamente da força de ligação entre as moléculas do líquido. Portanto, aos 5% de óleo, mesmo havendo significativa redução na tensão superficial da gota, não houve redução significativa do ângulo das gotas no vidro.

A molécula do adjuvante óleo mineral é composta por longa cadeia carbônica que é dividida em uma fração apolar e numa fração polar, sendo esta última, proporcionalmente, muito maior em relação à primeira para que, em pequenas concentrações, possa ser adicionado o óleo em caldas aquosas e se forme uma emulsão estável (VARGAS; ROMAN, 2006). Dessa forma, em concentrações acima da necessária, moléculas do adjuvante ficam concentradas nas interfaces com sua

porção polar livre, como foi o caso da superfície de vidro, nas concentrações de 15 e 25%. Por esse motivo, a porção polar das moléculas excedentes pode ter aumentando a interação do vidro pela gota, resultando nas diminuições significativas de ângulo observadas no experimento.

A adição somente de MnSO_4 às caldas influenciou significativamente no valor do ângulo de contato das gotas aplicadas nas folhas de laranjeira e no vidro, aumentando as médias em ambas as concentrações de 20 e 50 g L^{-1} , em relação ao não uso do mesmo (Figuras 1, 2, 3 e 4). A dissolução desse sal aumentou a polaridade da solução e diminuiu a afinidade de ambas as superfícies.

O uso de 5% de óleo mais MnSO_4 em 50 g L^{-1} resultou em efeito sinérgico na diminuição do ângulo de contato de gotas na folha de laranjeira, em comparação à calda sem esse sal (Figura 1). Essa interação significativa não foi verificada na superfície de vidro (Figura 3).

Na superfície foliar, quanto maior foi a concentração de óleo, na dosagem de MnSO_4 em 50 g L^{-1} , menor foi o ângulo de contato de gotas (Figura 1). Por outro lado, no vidro, as maiores concentrações de óleo, juntamente com as maiores dosagens de MnSO_4 aumentaram significativamente o valor do ângulo de contato das gotas (Figura 3). De acordo com os resultados, a influência no ângulo de contato de gotas pelo uso de sulfato de MnSO_4 dependeu de sua concentração e da concentração do óleo mineral, bem como da característica da superfície. Maiores estudos ainda são necessários para se verificar o efeito da interação entre esses fatores.

Após a aplicação de gotas de água sobre as duas superfícies, ocorreu pequeno espalhamento com o tempo, sem diferença na porcentagem de redução do ângulo entre 5, 30 e 60s (Tabela 3). Na folha de laranjeira, devido à pouca afinidade, a gota praticamente permaneceu imóvel e essa pequena diferença na angulação pode ser atribuída à perda de conteúdo por evaporação.

Gotas contendo somente o fungicida tiveram um espalhamento gradual ao longo dos 60s na folha de laranjeira, de modo que houve diferença significativa entre a porcentagem de redução aos 5 e 60s (Tabela 3). No vidro, esse espalhamento não ocorreu com a mesma intensidade, uma vez que as gotas se espalharam

imediatamente quando entraram em contato com a superfície, não havendo diferenças significativas no decorrer dos 60 segundos seguintes (Tabela 4).

Tabela 3. Porcentagem de redução do ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície de folhas de laranjeira após 5, 30 e 60 segundos.

% Óleo	MnSO ₄ (g L ⁻¹)	5 s	30 s	60 s
0	0	1,84 bc B ¹	9,77 de AB	17,76 efg A
	20	5,37 abc A	10,38 de A	16,37 efg A
	50	3,21 abc A	6,98 e A	11,99 fg A
5	0	17,12 ab B	34,15 ab A	38,24 abc A
	20	17,21 ab B	40,58 a A	46,06 ab A
	50	17,88 a C	42,64 a B	53,93 a A
15	0	12,58 abc B	23,84 bcd A	29,28 cde A
	20	6,46 abc B	15,38 cde AB	20,03 def A
	50	7,45 abc B	16,23 cde AB	18,89 defg A
25	0	6,54 abc A	10,86 de A	14,20 efg A
	20	9,23 abc B	27,48 abc A	34,50 bcd A
	50	9,44 abc B	22,98 bcd A	27,10 cdef A
Água	-	0,96 c A	3,63 e A	3,98 g A
DMS		15,85	15,85	15,85
Erro		3,31	3,31	3,31
CV(%)		36,27	36,27	36,27

¹Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra subscrita na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Tabela 4. Porcentagem de redução do ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície de vidro após 5, 30 e 60 segundos.

% Óleo	MnSO ₄ (g L ⁻¹)	5 s	30 s	60 s
0	0	1,44 c A ¹	3,41 e A	5,41 ef A
	20	0,64 c A	1,95 e A	3,44 f A
	50	5,42 c A	6,80 de A	8,38 ef A
5	0	0,49 c A	6,63 de A	11,99 def A
	20	2,34 c A	5,06 e A	9,74 ef A
	50	6,20 c B	18,22 bcde B	33,85 bc A
15	0	44,88 a B	57,42 a AB	60,56 a A
	20	20,93 bc A	26,95 bcd A	32,33 bcd A
	50	14,08 bc B	29,61 bc A	34,26 bc A
25	0	31,64 ab B	38,29 ab AB	50,11 ab A
	20	13,79 bc A	21,58 bcde A	25,50 cde A
	50	18,14 bc A	19,64 bcde A	30,71 bcd A
Água	-	5,54 c A	9,27 cde A	14,98 cdef A
DMS		20,64	20,64	20,64
Erro		4,31	4,31	4,31
CV(%)		46,01	46,01	46,01

¹Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra subscrita na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Na folha, o maior e mais rápido espalhamento foi encontrado em gotas contendo 5% de óleo mineral ($v v^{-1}$) em todos os tempos, com diferenças significativas perante as demais caldas aos 30 e 60s (Tabela 3). Com ou sem a adição de $MnSO_4$, a redução do ângulo foi gradual e significativa ao longo dos 60s, com maior intensidade quando se misturou a maior dosagem do sulfato de manganês (Tabela 3). Entretanto, com as concentrações maiores de óleo (15 e 25%), houve menor espalhamento das gotas nos primeiros 5s e menor intensidade no decorrer da análise em comparação às gotas com 5% desse adjuvante (Tabela 3). Isso se deve em função da gota assumir um ângulo pequeno instantaneamente ao ser aplicada na folha, pela maior afinidade nas concentrações maiores (15 e 25%) de óleo em relação à menor (5%). Resultados de rápido espalhamento também foram encontrados por Tang, Dong e Li (2008) utilizando um adjuvante organossiliconado.

Assim, durante uma pulverização, podemos atribuir menor chance de escorrimento de gotas das folhas quando há altas concentrações de óleo na calda, uma vez que essas rapidamente se espalham ao primeiro contato com a superfície alvo. Essa característica também é importante em pulverizações feitas com o uso de gotas grossas, evitando a perda da mesma por escorrimento para o solo.

No vidro, as maiores concentrações de óleo mineral (15 e 25%) aumentaram a velocidade e intensidade de espalhamento das gotas, conforme observado em todos os momentos na leitura em comparação à menor concentração (5%) (Tabela 4). Quando da adição de $MnSO_4$, houve efeito significativo com 15 e 25% de óleo, fazendo com que a velocidade e intensidade de espalhamento fosse menor em relação ao não uso do fertilizante (Tabela 4).

A área molhada por gotas aplicadas sobre a superfície de folhas de laranjeira variou significativamente em função da adição de óleo, não havendo influência da adição de $MnSO_4$ nem da interação deste com as concentrações do adjuvante (Tabela 2). A calda contendo 5% de óleo promoveu maior área molhada por gotas. No entanto, ao contrário do que se esperava, as caldas com proporções maiores de óleo de 15 e 25% não resultaram em aumento na média de área molhada, quando comparadas à calda com 5%, conforme encontrado em outros trabalhos

empregando concentrações crescentes de adjuvantes (MENDONÇA et al., 1999; IOST; RAETANO, 2010; GIMENES et al., 2013).

O cálculo da área molhada é feito pelo software, que considera a imagem frontal da gota, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 5. Assim, se ocorrer o espalhamento da gota de maneira irregular ou assimétrica, o software é incapaz de calcular corretamente a área molhada, super ou subestimando o valor real.

Durante as análises, as gotas espalhavam-se gradativamente e, quando encontravam alguma nervura disposta no limbo superficial das folhas, o espalhamento ocorria rapidamente acompanhando seu sentido. As altas proporções de óleo (15 e 25%) facilitaram esse rápido espalhamento, conforme explicado anteriormente, subestimando a área molhada por gotas, inviabilizando comparações diretas entre os tratamentos.

Na superfície de vidro, as médias de área molhada por gotas não foram significativamente influenciadas pelas concentrações de óleo e pelas dosagens de $MnSO_4$, não havendo, portanto, interação significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

Por se tratar de uma superfície hidrofílica, as gotas naturalmente se espalharam mais em relação à superfície foliar o que aumentou a área molhada pelas mesmas, independente do tratamento utilizado. Quanto mais espalhada está a gota na superfície, maior é a evaporação de líquido, o que pode ter ocorrido subestimando as leituras no vidro, suprimindo diferenças significativas na área molhada por gotas.

A superfície de vidro é plana e regular e manteve as gotas aplicadas em um formato mais esférico em relação às gotas aplicadas na superfície foliar, de modo que os resultados de área molhada ficaram mais consistentes e se correlacionaram mais intensamente com as médias de ângulo de contato para um mesmo tratamento.

Pela correlação linear de Pearson, verifica-se que, entre o ângulo de contato e a área molhada por gotas, houve correlação negativa de -0,71 para a superfície de vidro, enquanto esse valor foi somente de -0,30 para a superfície foliar. Resultados similares também foram encontrados por outros autores trabalhando com outras superfícies vegetais e de vidro (DECARO JUNIOR et al., 2014). Esse padrão entre

variáveis já era esperado no trabalho, no entanto, com maior intensidade para ambas as superfícies.

De acordo com os resultados, a leitura da área molhada incorreu em possíveis erros no reconhecimento do formato da gota aplicada nas folhas de laranjeira pelo software, bem como por evaporação na superfície de vidro, o que inviabiliza o método empregado neste trabalho para essa finalidade.

3.2. PORCENTAGEM DE EVAPORAÇÃO

Entre as leituras dos tratamentos e das repetições houve pequena variação nas condições de temperatura do ar e de umidade relativa. Os valores anotados foram correlacionados com as porcentagens de evaporação pelo cálculo de correlação linear de Pearson. Foi verificada pequena correlação negativa de -0,19 e -0,15 para as variações na porcentagem de evaporação em função de variações na umidade relativa e temperatura do ar, respectivamente. Assim, as variações entre médias da porcentagem de evaporação foram decorrentes dos efeitos dos tratamentos empregados no experimento, assegurando a veracidade na análise de variância.

Não houve efeito significativo das concentrações de óleo e das dosagens de MnSO_4 , separadamente, na porcentagem de evaporação das gotas após 30, 60 e 180 segundos avaliados no experimento. Entretanto, houve interação significativa a 5% de probabilidade, para a interação entre os tratamentos, nos tempos de 30 e 60s. A porcentagem de volume evaporado das gotas aumentou de forma linear ao longo do tempo para todos os tratamentos.

O uso de 25% (v v^{-1}) de óleo, sem a presença de MnSO_4 , teve média de evaporação de gotas significativamente menor em relação à calda com 5% de óleo e 50 g L^{-1} de MnSO_4 aos 30 e 60s (Tabela 5). Esses dois tratamentos, no entanto, tiveram médias iguais aos demais tratamentos (Tabela 5).

É esperado que, nas maiores concentrações de óleo, ocorra menor evaporação na gota, uma vez que a pressão de vapor do óleo e de soluções que a contenham é menor que a da água (WODAGENEH; MATTHEWS, 1981). Todavia, as gotas que mais evaporaram também continham óleo, em menor concentração

(5%) associado à maior dosagem de MnSO_4 . Este último, em alta concentração na calda, pode ter reagido com o pequeno volume de óleo e diminuindo a afinidade das moléculas do adjuvante com a água, ficando esta última mais fracamente ligada e mais suscetível à evaporação. Esse mesmo padrão foi observado para as caldas com 25% de óleo em mistura com as dosagens crescentes de MnSO_4 (Tabela 5).

Tabela 5. Porcentagem do volume evaporado de gotas de 1500 μm de diâmetro obtidas por caldas fungicidas contendo diferentes concentrações de óleo mineral e de MnSO_4 .

Óleo (%)	MnSO_4 (g L ⁻¹)	30s	60s	180s
0	0	3,31 ab ¹	5,94 ab	16,52 a
	20	3,17 ab	5,41 ab	16,21 a
	50	2,94 ab	5,32 ab	15,57 a
5	0	2,96 ab	5,83 ab	16,09 a
	20	3,00 ab	5,60 ab	16,64 a
	50	4,43 a	8,27 a	21,89 a
15	0	3,73 ab	6,80 ab	18,69 a
	20	3,44 ab	6,20 ab	16,05 a
	50	3,61 ab	6,68 ab	18,57 a
25	0	1,66 b	4,03 b	13,20 a
	20	3,80 ab	7,45 ab	20,31 a
	50	3,62 ab	7,13 ab	20,11 a
Água	-	4,33 a	6,91 ab	18,91 a
DMS (5%)		2,58	4,14	10,61
Erro padrão		0,52	0,83	2,13
CV (%)		30,52	26,5	24,2

¹Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O efeito dos tratamentos na evaporação de gotas não está relacionado com as alterações provocadas na tensão superficial das caldas. À partir do cálculo de Pearson, verificamos que, entre a tensão superficial e a porcentagem de evaporação, há correlação negativa com valor muito baixo de -0,12.

Para as caldas somente com o fungicida, sem o uso do óleo mineral, a adição de MnSO_4 reduziu a porcentagem de evaporação em todos os tempos, embora sem diferenças significativas. A presença desse sal, bem como de qualquer outro, dissolvido na calda aquosa diminui a pressão de vapor da solução.

O tempo de 180 segundos pode não ter sido suficiente para evidenciar diferenças significativas no experimento. Pengfei, Cunjing e Feng (2012) verificaram, em uma superfície super hidrofóbica, que o processo de evaporação de gotas de

água de 5 μL compreendia um tempo bem maior em relação aos 180 segundos avaliados neste experimento.

Para que a metodologia empregada neste trabalho seja validada para futuros experimentos, visando verificar o efeito da calda na evaporação de gotas pendentes, alguns ajustes precisam ser feitos. O uso de gotas com volume maior que 1,767 μL certamente permitiria realizar a leitura em tempo igual ou superior a 5 minutos, que provavelmente seria suficiente para expressar mais intensamente o efeito de cada calda com relação à maior ou menor evaporação de suas gotas.

4. CONCLUSÕES

A adição do adjuvante óleo mineral nas caldas é uma ferramenta viável para reduzir a tensão superficial das gotas e melhorar seu espalhamento nas folhas de laranjeira. A concentração de 5% ($v v^{-1}$) é suficiente para manifestar maiores efeitos na tensão superficial e no ângulo de contato de gotas.

As concentrações de sulfato de manganês utilizadas neste trabalho não modificam a tensão superficial das caldas contendo fungicida, porém influenciam no ângulo de contato de gotas aplicadas na superfície foliar e de vidro, aumentando ou diminuindo seu valor, dependendo de sua concentração e do óleo mineral.

Com a redução na tensão superficial e aumento no espalhamento de gotas, a cobertura nas folhas de laranjeira por gotas é melhorada durante a pulverização.

A metodologia descrita neste trabalho não foi apropriada para medir a evaporação de gotas a partir das crescentes adições de óleo mineral e de sulfato de manganês nas caldas fungicidas.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. D.; SKURTYS, O.; OSORIO, F. The impact of liquid drops on purple cabbage leaves (*Brassica oleracea* L. Var. Capitata). **Ingeniería e Investigación**, v. 32, n. 2, p. 79-82, 2012.

BUTLER ELLIS, M. C.; WEBB, D. A.; WESTERN, N. M. The effect of different spray liquids on the foliar retention of agricultural sprays by wheat plants in a canopy. **Pest Management Science**, v. 60, p. 786-794, 2004. DOI: 10.1002/ps.875.

DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantation. **Aspects of Applied Biology**, v. 122, p. 415-422, 2014.

FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO, L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, p. 1431-1440, 2013.

GIMENES, M. J.; ZHU, H.; RAETANO, C. G.; OLIVEIRA, R. B. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, v. 44, p. 84-90, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.022>.

HEWITT, A. J. Spray optimization through application and liquid physical property variables-I. **Environmentalist**, v.28, p. 25-30, 2008. DOI: 10.1007/s10669-007-9044-5.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatante em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.670-680, 2010.

LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; AZEVEDO, L. H. de; NEVES, S. S.; FERREIRA, M. C. . Retention of copper hydroxide spraying liquids with adjuvants on coffee plant leaves. **Resumos...** In: The 24th international conference on coffee science, 2012, San Jose. The 24th international conference on coffee science, 2012. p. 1067-1070.

MENDONÇA, C. G. de; VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MENDONÇA, C. G. de. Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. **Planta Daninha**, Brasil, v. 17, n. 3, p. 355-365, 1999.

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

PENGFEI, H. A. O.; CUNJING, L. V.; FENG, H. E. Evaporating behaviors of water droplet on superhydrophobic surface. **Sci China – Phys Mech Astron**, v. 55, n. 12, p. 2463-2468, 2012. DOI: 10.1007/s11433-012-4940-1.

SILVA, F. M. L.; VELINI, E. D.; CORRÊA, T. M. Influência dos íons Mg, Ca, Fe, Cu e Zn sobre a tensão superficial estática de soluções contendo surfatante. **Planta Daninha**, Brasil, v. 24, n. 3, p. 589-595, 2006.

TANG, X.; DONG, J.; LI, X. A comparison of spreading behaviors of Silwet L-77 on dry and wet lotus leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 325, p. 223–227, 2008. DOI: 10.1016/j.jcis.2008.05.055

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10p.

VASIL'EV, A. Y.; MAIOROVA, A. I. Physical features of liquid atomization when using different methods of spraying. **High Temperature**, Rússia, v. 52, n. 2, p. 250-258, 2014.

WODAGENEH, A.; MATTHEWS, G.A. The addition of oil to pesticide sprays – Effect on droplet size. **Tropical Pest Management**, v.27, p.121-124, 1981.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; KRAUSE, C. R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with the type and concentration of adjuvants. **Pest Manag Sci**, United States, v. 67, p. 842–851, 2011.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage área of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of ASABE**, Estados Unidos, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, observa-se a possibilidade de se trabalhar com o ajuste de bicos a fim de proporcionar mudanças significativas no volume de aplicação no pomar, associando-se ao uso de diferentes tecnologias de aplicação.

Novos trabalhos podem ser feitos com alvos biológicos de modo a verificar seu controle em equipamento Torre de Potter, pulverizando os mesmos volumes ultra baixos e concentrações de produtos praticadas no presente trabalho. Dessa forma, pode-se validar e especificar o uso dos volumes ultra baixos de acordo com o problema fitossanitário em questão.

O bocal efervescente usado no trabalho requer alguns ajustes a fim de melhorar sua uniformidade de diâmetro de gotas pulverizadas. Outros trabalhos podem ser realizados no sentido de aumentar a faixa de ajuste de vazão e verificar o efeito no espectro de gotas, visando manter o padrão de gotas finas sem perda na uniformidade das mesmas. Isso possibilitaria maiores velocidades de deslocamento do pulverizador a campo, sem diminuir a taxa de aplicação. Dessa forma, associando-se à pulverização nos dois lados da cultura dos citros, pode-se oferecer ao setor uma alternativa bem mais eficiente em relação aos equipamentos atuais no que se refere à capacidade de campo operacional das aplicações.

Os adjuvantes atualmente utilizados na agricultura existem em grande número e trazem poucas informações relevantes sobre seu potencial de uso em pulverizações. Trabalhos devem ser conduzidos no sentido de verificar o efeito de outras classes de adjuvantes, usando-se várias concentrações em caldas fitossanitárias, analisando-se variáveis importantes para a qualidade das pulverizações. Além daquelas avaliadas no presente trabalho, podem ser consideradas também variáveis como formação de espuma, tempo de vida de gotas aplicadas sobre superfícies vegetais e artificiais, e também na forma pendente, usando-se equipamento tensiometro.

Para a variável porcentagem de evaporação, a metodologia adotada neste trabalho pode ser modificada visando o uso de gotas de aproximadamente 3 μ L mantidas na forma pendente por pelo menos 10 minutos, o que provavelmente resultaria em diferenças entre caldas fitossanitárias.