



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



RAQUEL BERNA

ESPECTRO DE GOTAS GERADAS POR PONTA DE JATO PLANO DE IMPACTO
PARA APLICAÇÃO AÉREA NA PRESENÇA DE ADJUVANTES EM CALDAS DE
PULVERIZAÇÃO

Botucatu

2017

RAQUEL BERNA

**ESPECTRO DE GOTAS GERADAS POR PONTA DE JATO PLANO DE IMPACTO
PARA APLICAÇÃO AÉREA NA PRESENÇA DE ADJUVANTES EM CALDAS DE
PULVERIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

**Botucatu
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO- BOTUCATU (SP)

B517e Berna, Raquel, 1989-
Espectro de gotas geradas por ponta de jato plano de impacto para aplicação aérea na presença de adjuvantes em caldas de pulverização / Raquel Berna. - Botucatu :[s.n.], 2017
57 p.: ils., color., grafs., tabs.
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia
1. Tecnologia de aplicação de defensivos. 2. Pulverização. 3. Fungicidas - Aplicação. 4. Pragas agrícolas - Controle. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. III. Título.

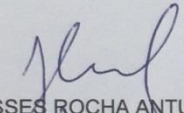
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

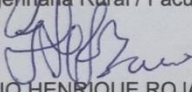
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESPECTRO DE GOTAS GERADAS POR PONTA DE JATO PLANO DE IMPACTO PARA APLICAÇÃO AÉREA NA PRESENÇA DE ADJUVANTES EM CALDAS DE PULVERIZAÇÃO

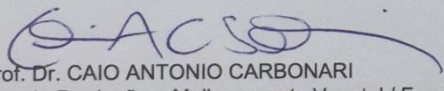
AUTORA: RAQUEL BERNA

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP


Prof. Dr. FABIO HENRIQUE ROJA BAIO
Depto de Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / Chapadão do Sul /MS


Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 24 de fevereiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela fiel companhia por toda minha vida.

Aos meus pais, por confiar em minhas escolhas e pelos ensinamentos da fé em Deus, honestidade, trabalho, caráter e humildade. Aos meus irmãos que admiro tanto Daniel, Mateus, Lucas e Elisa, vocês me inspiram.

Ao professor Dr. Ulisses Rocha Antuniassi pela compreensão do momento de cada orientado, pelos ensinamentos através de conversas, direcionamentos e exemplo, pelas oportunidades de viagens para o crescimento pessoal e profissional, pelo companheirismo e relação de confiança mútua que conquistamos.

Aos professores Dr. Caio Carbonari, Dr. Fábio Henrique Rojo Baio e Dr. Paulo Arbex pelo comprometimento em participar da minha banca e pelas sugestões apresentadas para a melhoria dessa pesquisa.

Aos amigos Alisson Mota, Rodolfo Chechetto e Fernando Kassis, pelo exemplo profissional e ensinamentos diários. Os amigos da equipe de trabalho Ulisses Gandolfo, Thalyson Medeiros, Mateus Queiroz, Saulo Gomes, Rafael Panini, Vicente Cornagro, Andreia Padovani e Gisele Pinheiro pela parceria e bons momentos. Aos estagiários Henrique Soares, Tito Rondon, Arianne Moniz, Bruno Alves e Luan Solér pela disponibilidade e ajuda essencial.

Aos bons profissionais, Patrícia Pereira Dias, Ricardo Rabelo, Dante Basso e Alexandre Basso, que contribuíram com este trabalho, e sempre estiveram dispostos a dar o melhor e ajudar.

As pessoas incríveis e inesquecíveis, que foram presentes de Deus nessa fase de mestrado: as companheiras de lar Renata Coscolin e Bárbara Barreto; à família que eu amo Dante, Sônia, Kamila e Karina; a amiga de todas as horas Marcella Guerreiro de Jesus; e ao meu querido Caio Alexandre Ferreira Moreira.

Ao Programa de Pós-Graduação Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Rural e a todos os funcionários e colaboradores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Campus de Botucatu pelo auxílio durante esses anos.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

Por necessidade de maior capacidade de campo operacional durante as aplicações de produtos fitossanitários nas lavouras, a aviação agrícola têm se destacado como uma opção importante para diversas culturas. Porém, para garantir a eficácia da aplicação, alguns fatores devem ser considerados, como a calda, o elemento gerador de gotas e o fluxo de ar, pois estes irão influenciar no espectro de gotas formado e, conseqüentemente, no risco de ocorrer deriva. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência de diferentes adjuvantes nas características físicas das caldas contendo fungicida, analisando-se o espectro de gotas formado em função de cada ângulo de deflexão de uma ponta de pulverização aérea CP-03, buscando um indicativo de utilização dessas técnicas quanto à qualidade e segurança das aplicações. Foram avaliadas quatro caldas, sendo uma calda com fungicida, e outras três com as misturas do fungicida com cada um dos adjuvantes: um multifuncional; um óleo vegetal; e um óleo mineral. A aplicação aérea foi simulada através de um ventilador de alta capacidade, com velocidade média de vento de 180 km h^{-1} . Na saída deste ventilador foi acoplada a ponta de pulverização CP-03, e a pulverização foi simulada com taxa de aplicação de 20 L ha^{-1} e pressão de 200 kPa. Todas as caldas foram pulverizadas com os três ângulos defletores da ponta (30° , 55° e 90°) e o espectro de gotas foi determinado utilizando-se um equipamento analisador de partículas em tempo real posicionado na frente do simulador (VisiSizer portátil - Oxford Lasers Ltd / UK). Entre as caldas que continham o fungicida mais um dos adjuvantes, a calda composta pelo fungicida e o adjuvante multifuncional apresentou os maiores valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) e menores valores percentuais de gotas menores que $100 \mu\text{m}$ (V100), com todos os ângulos defletores da ponta de pulverização CP-03, posicionando-se como melhor técnica de redução de deriva. A adição de óleo mineral a calda proporcionou o menor valor de DMV e maior valor de V100, quando comparado às outras caldas. Com relação ao potencial de redução do risco de deriva o ângulo defletor de 30° , ofereceu o melhor potencial com todas as caldas avaliadas.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação, Aplicação aérea, Simulação de pulverização, Adjuvantes

ABSTRACT

Due to the necessary of a greater operational efficiency during applications of plant health products in crops, agricultural aviation has been an important option for several crops. However, to ensure the effectiveness of the application, some factors must be considered as the spray formulation, the nozzles and the air flow, as these will influence the droplet spectrum formed and, consequently, the risk of spray drift. Based on this subject, the objective of this research was to evaluate the influence of different adjuvants on the physical characteristics of the spray mixture with the behavior of the droplet spectrum formed as a function of each deflection angle of the aerial spray tip CP-03 and to find an indicative of which of them are more suitable for reducing the risk of spray drift. Four spray formulations were evaluated, one spray solution with fungicide, and the other three sprays with a mix of each of the adjuvants containing fungicide, the first one surfactant, the second one mineral oil and the third one a vegetable oil. The aerial application was simulated through a high capacity fan with a high-speed airstreams of 180 km h^{-1} . At the outlet of this fan the spray tip CP-03 was coupled, and the spraying was simulated with application rate of 20 L ha^{-1} and pressure of 200 kPa. All spray formulations were tested by three deflecting angles (30° , 55° and 90°) and the droplet spectrum was determined using a real-time particle analyzer positioned in front of the simulator (VisiSizer portable - Oxford Lasers Ltd / UK). Between the mixture that contained the fungicide over one of the adjuvants, the mix made by the fungicide and the adjuvant-one presented the highest values of volumetric median diameter (VDM) and lower percentage values of droplets smaller than $100 \mu\text{m}$ (V100), with all deflecting angles tip CP-03, positioning itself as the best technique of reducing spray drift. The addition of mineral oil the mix provided the lowest value of VDM and greater value of V100, when compared to the other mixture. With respect to the potential for reducing the risk of spray drift the deflector angle of 30° , offered the best potential with all the evaluated.

Keywords: Application Technology, Aerial application, Spray simulation, Adjuvants

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição e abreviaturas dos produtos fitossanitários utilizados nos tratamentos.....	31
Tabela 2 -	Tratamentos constituídos por diferentes caldas e ângulos de deflexão.....	31
Tabela 3 -	Análise estatística das variáveis: diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual de gotas menores que 100 μm (V100) e amplitude relativa (AR) em relação aos ângulos de deflexão da ponta de pulverização CP-03 (AD) e caldas da pulverização (CL).....	41
Tabela 4 -	Desdobramento dos ângulos defletores para cada calda (CL) em relação ao diâmetro mediano volumétrico (DMV).....	42
Tabela 5 -	Desdobramento dos ângulos defletores para cada calda (CL) em relação ao percentual de gotas menores que 100 μm (V100).....	45
Tabela 6 -	Correlação entre as médias das variáveis físicas das caldas as variáveis da análise de espectro de gotas.....	48
Tabela 7 -	Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos com o ângulo defletor de 30°.....	48
Tabela 8 -	Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos com o ângulo defletor de 55°.....	48
Tabela 9 -	Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para os tratamentos com o ângulo defletor de 90°.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponta de pulverização de jato plano de impacto, modelo CP-03, com três posicionamentos dos ângulos defletores.....	22
Figura 2 - Ponta de pulverização de jato plano de impacto, modelo CP-03, vista da parte interna com os orifícios ajustáveis que regulam a vazão.....	22
Figura 3 - Viscosímetro rotacional Brookfield, modelo LVDV-II+ utilizado nas análises dos tratamentos (a); detalhe do spindle submerso na calda de pulverização e o sentido de rotação, indicado pela seta (b).....	32
Figura 4 - Esquema ilustrativo da vista do ventilador e analisador de gotas usado por Fritz; Hoffmann; Bagley, 2010	33
Figura 5 - Circuito hidráulico de pulverização.....	34
Figura 6 - Desenho da vista lateral do ventilador e analisador de gotas, com detalhes e distâncias das suas principais partes.....	35
Figura 7 - Foto do ventilador e o analisador de gotas por imagens, modelo VisiSize Portátil (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.).....	36
Figura 8 - Imagem do software (Visisize Particle Sizing) durante a análise do tamanho das gotas pulverizadas em tempo real.....	36
Figura 10 - Valores de Tensão Superficial (médias \pm IC5%) das caldas.....	38
Figura 11 - Valores de viscosidade (médias \pm IC5%) das caldas.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Aplicação aérea de produtos fitossanitários e risco de deriva	19
2.2	Pontas de energia hidráulica utilizadas na pulverização aérea	20
2.3	Processos de formação de gotas	23
2.4	Características físicas da calda de pulverização e espectro de gotas	24
2.5	Adjuvantes na calda de pulverização	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Local	30
3.2	Tratamentos	30
3.3	Análise da viscosidade	32
3.4	Análise da tensão superficial	33
3.5	Análise do espectro de gotas	33
3.6	Análise dos dados	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Tensão Superficial.....	38
4.2	Viscosidade	39
4.3	Espectro de gotas	40
4.4	Correlações entre as variáveis analisadas	47
5	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Na busca por maiores produtividades agrícolas, são usados produtos fitossanitários para controle de insetos pragas, plantas daninhas e doenças, que interferem na formação da cultura. Da mesma forma, tem-se buscado maior capacidade de campo operacional realizadas por máquinas durante todo desenvolvimento da cultura. Assim, a aviação agrícola tem se tornado uma ferramenta importante no setor agrícola.

Há décadas a tecnologia de aplicação vem sendo discutida na agricultura e com a aplicação de produtos fitossanitários realizada através de aviões agrícolas, não tem sido diferente. A grande extensão da área agricultável e o desempenho eficiente dessas máquinas, fez com que a aplicação aérea se tornasse alvo de pesquisas dentro do setor de tecnologia de aplicação.

Para o sucesso no processo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários via aplicação aérea, é essencial que se minimize a deriva, fenômeno que ocorre devido ao deslocamento das gotas geradas durante todo o processo para áreas adjacentes não alvo. Sendo assim, evitando-se contaminações no ambiente e perdas de ingredientes ativos, que são necessários para que se alcance elevados níveis de eficácia na área alvo da aplicação.

O processo de pulverização em uma aplicação aérea dependerá do tipo de elemento gerador de gotas escolhido (pontas de pulverização hidráulicas ou atomizadores rotativos), para as pontas hidráulicas do ângulo defletor da ponta de pulverização ou do ângulo em que a ponta foi posicionado na barra de pulverização, das características físicas da calda, da pressão de trabalho e do fluxo de ar gerado pelo deslocamento da aeronave, esses fatores influenciam no espectro de gotas gerado durante a pulverização, tornando-os relevantes na escolha de técnicas adequadas para uma aplicação de produtos fitossanitários mais segura.

Pesquisas têm demonstrado resultados de espectro de gotas diferentes para cada situação de aplicação e principalmente, após a adição de adjuvantes na calda. Os adjuvantes não têm sua composição especificada pela indústria na maioria das vezes. No processo de formação das gotas, quando um adjuvante é adicionado a calda, pode ser alterado o espectro de gotas de acordo com o modelo de ponta de pulverização utilizado. A falta de conhecimentos específicos da interação entre uma ponta e diferentes adjuvantes poderá afetar o potencial de deriva das aplicações, e

consequentemente nas contaminações do ambiente e na eficácia dos produtos fitossanitários.

Alguns adjuvantes demonstram interação no aumento do tamanho médio das gotas de pulverização e, por vezes, na redução do percentual de gotas finas as quais são mais propensas a sofrer deriva. Entretanto, há muita demanda técnica sobre o desempenho dos adjuvantes em relação à redução da deriva, quanto que, grande parte das pesquisas anteriores centrou-se em sistemas de aplicação terrestre.

Devido à importância destes fatores, a medição do tamanho das gotas e sua distribuição têm sido um tema de interesse. Com isso torna-se de grande relevância pesquisas que proporcionem o desenvolvimento de bases de dados de tamanho de gotas e classificação para cada tipo de aplicação, já que as combinações do modo de aplicação são inúmeras.

Esta pesquisa descreve alguns experimentos em laboratório que foram realizados para estimar o espectro de gotas na pulverização aérea em relação aos aspectos físicos das caldas e ajustes da ponta de pulverização. Estas propriedades proporcionam uma base para análise sobre a interferência da calda com a ponta no espectro de gotas e, consequentemente, no potencial risco de deriva.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi simular uma aplicação aérea para avaliar a influência de diferentes adjuvantes adicionados a caldas com um fungicida, nas características físicas de caldas, analisando-se o espectro de gotas formado em função de cada ângulo de deflexão de uma ponta de pulverização aérea CP-03, buscando um indicativo de utilização dessas técnicas quanto à qualidade e segurança das aplicações aéreas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aplicação aérea de produtos fitossanitários e risco de deriva

Durante os últimos anos a aplicação de produtos fitossanitários via pulverização aérea tornou-se a ferramenta de maior crescimento no setor agrícola, visto que hoje o Brasil possui a segunda maior frota de aviões agrícolas no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (SINDAG, 2016). Em 2014, de cada 100 aviões que foram comercializados para aplicação aérea, 50 foram comprados por proprietários privados, que visualizaram o benefício do investimento (ANTUNIASSI, 2015).

A aplicação aérea na lavoura caracteriza-se como uma importante ramificação da tecnologia de aplicação, tendo algumas particularidades como, por exemplo, o uso de taxas de aplicação reduzidas, uso em propriedades de médio e grande porte e principalmente, por aumentar a capacidade de campo operacional (BUENO, 2011).

A aplicação aérea possibilita reduzir a taxa de aplicação devido a sua capacidade de campo operacional ser maior que na aplicação terrestre. Segundo Antuniassi (2015), a maior parte das aplicações aéreas variam entre 10 e 30 litros de calda que deve ser pulverizada por hectare, valor muito menor que a maioria das aplicações terrestres, desta forma torna-se possível otimizar a operação.

Para Camargo (2006) a capacidade de campo operacional na aplicação aérea pode ser maior que 100 ha h^{-1} e ainda ressalta outras vantagens em relação a aplicação terrestre, convencionalmente utilizada, como a maior possibilidade de fazer a aplicação no momento correto, o fato de não compactar o solo e não causar danos na cultura através do amassamento causado por pulverizadores terrestres.

A deriva foi definida por Christofolletti (1999) como toda parte da pulverização que não atinge o alvo e Costa et al. (2007), afirmam que esta perda de produto fitossanitário é a principal causa de preocupação com a contaminação ambiental.

Na aplicação aérea o percurso da gota até o alvo que deverá ser atingido é maior que na terrestre, causando maior exposição da gota em relação à ação da deriva causada pelas condições meteorológicas. Para a aplicação ser eficaz, em relação à cobertura do alvo e penetração na cultura, com uma taxa de aplicação

reduzida, as gotas mais utilizadas pertencem à classificação muito fina e fina, que são as gotas mais sensíveis à ocorrência de deriva.

As condições meteorológicas, temperatura, umidade relativa do ar e principalmente velocidade do vento, podem agravar os resultados de deriva caso não estejam favoráveis à aplicação. Para maior segurança, as aplicações devem ocorrer com umidade relativa do ar superior a 50%, temperatura ambiente menor que 30°C. Porém, com a temperatura ambiente inferior a 15°C, devem-se evitar aplicações, por alguns produtos apresentarem um grau de instabilidade física ou química e influenciará a absorção pelo fato de que, em baixas temperaturas as plantas diminuem sua atividade fisiológica, e então, a absorção destes produtos será dificultada (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

A velocidade média do vento deve ser de 3 a 10 km h⁻¹ (BIRD; ESTERLY; PERRY, 1996; HEWITT et al., 2002). Antuniassi (2005) relata que devido ao risco de ocorrência de correntes convectivas e de inversão térmica deve-se evitar a aplicação na ausência de vento, pois nestas condições a estabilidade da atmosfera é modificada, o que acarretaria uma interferência negativa na deposição das gotas. Por esta razão, é necessário priorizar as aplicações nos horários em que há vento de no mínimo de 3 km h⁻¹.

2.2 Pontas de energia hidráulica utilizadas na pulverização aérea

A ponta de pulverização está relacionada à eficácia da pulverização. A escolha da tecnologia de aplicação é tão importante quanto a escolha do produto fitossanitário. Deve-se garantir que a aplicação do produto seja eficiente, sem que ocorram perdas. Para se alcançar a eficiência, é necessário que a aplicação ocorra de maneira uniforme na lavoura e o com o espectro de gotas adequado, minimizam perdas (CUNHA et al. 2003; CUNHA et al. 2006).

A ponta de pulverização é responsável pela passagem do líquido sob pressão através de um orifício, de modo que haja uma velocidade suficiente para que este líquido se desintegre em gotas que serão de vários tamanhos, sendo assim a ponta de pulverização é um dos componentes mais importantes no processo de formação de gotas (MATTHEWS, 2000).

Sidahmed (1998); Masiá; Cid (2010) citam que além das pontas de pulverização serem responsáveis pelo processo de fragmentar o líquido em gotas,

cabe a elas a distribuição da calda pulverizada sobre as plantas e a regulação da quantidade de ingrediente ativo aplicada por unidade de área.

Considerando as características que cada ponta de pulverização proporciona, os técnicos responsáveis devem fazer a melhor escolha entre as diversas opções que o mercado oferece. De acordo com Ozeki (2006), os modelos de pontas de energia hidráulica mais utilizadas em aeronaves agrícolas são os de jato cônico, jato plano, jato plano ajustável e jato sólido. Segundo o mesmo autor, as pontas de jato cônico são semelhantes as pontas de pulverização terrestre, diferindo pelo fato de apresentarem uma vazão superior, necessária devido a velocidade de deslocamento do avião.

Womac; Goodwin; Hart. (1997) e Johnson: Swetnam (1996), concluíram que a escolha e o uso adequado das pontas de pulverização são essenciais para a correta aplicação, sendo o fator principal e determinante da taxa de aplicação, uniformidade, cobertura e risco de deriva.

Uma característica não favorável das pontas de pulverização que operam com pressão hidráulica é a formação de gotas com tamanho desuniformes, o que dificulta a boa cobertura do alvo (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). Outro grupo de pontas de pulverização aéreas que são populares no Brasil, são os atomizadores rotativos. Estes geram taxas de aplicação normalmente menores que 20 l ha^{-1} . Segundo Carvalho et al. (2016), dependendo do modelo do atomizador e do processo de formação de gotas, haverá maior desuniformidade no tamanho das gotas. O grau de uniformidade das gotas é representado pelo valor da amplitude relativa do espectro de gotas.

As pontas de jato plano de impacto possuem defletores que permitem a flexibilidade de ajuste de tamanho de gotas, em uma única ponta. Estes defletores são anteparos posicionados na frente da saída do líquido, que proporcionam o cisalhamento das gotas após a saída do líquido pelo orifício, através do impacto sofrido entre o líquido e o anteparo. Estes defletores se posicionam em três ângulos diferentes (30° , 55° e 90°), e quanto maior for este ângulo em relação à posição de saída do líquido, maior será o impacto e cisalhamento das gotas e assim, será menor o tamanho das gotas formadas (Figura 1) (CARVALHO; BOLLER; ANTUNIASSI, 2011).

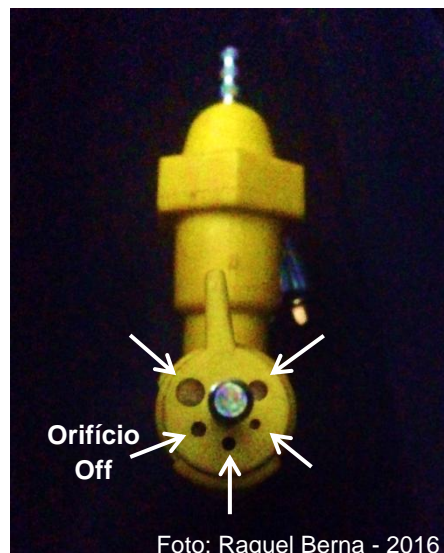
Figura 1 Ponta de pulverização de jato plano de impacto, modelo CP-03, com três posicionamentos dos ângulos defletores



Além dos defletores serem ajustáveis para este tipo de ponta, conhecidas também como “pontas do tipo CP”, elas possuem uma unidade de restrição variável para ajuste da vazão, através de um disco com diversos orifícios calibradores de vazão, que também são ajustáveis (Figura 2). Com estas características torna-se rápido o processo de ajuste da tecnologia de aplicação.

De maneira geral, é importante ressaltar, que a escolha de uma ponta de pulverização mais adequada deve representar uma alternativa para a redução da deriva, por meio da possibilidade de aumentar o tamanho das gotas formadas por ela (CHRISTOFOLETTI, 1999; OZKAN, 2001).

Figura 2 Parte da ponta de pulverização de jato plano de impacto, modelo CP-03, vista da parte interna com os quatro orifícios ajustáveis que regulam a vazão



2.3 Processos de formação de gotas.

Matuo (1990) definiu o processo de pulverização como o momento em que o líquido é forçado a sair por um orifício sob uma pressão, formando assim, as gotas. O diâmetro que será formado nessas gotas terá influência da pressão em que o líquido é submetido, do tamanho do orifício de saída, da força de coesão entre as moléculas do líquido, da temperatura e da resistência causada pelo meio após o líquido sair pelo orifício.

Sendo assim, deve-se considerar que para aplicações aéreas, a interferência do meio externo é maior quando comparada a pulverização terrestre. Devido a velocidade de deslocamento do avião ser maior, e proporcionar ventos de alta intensidade no momento da saída do líquido pela ponta. Para Hoffmann, Fritz e Lan (2009) este fato favorece o cisalhamento deste líquido. Esta diferença de velocidade de aplicação é ressaltada por Czaczyk, Kruger e Hewitt (2012), como a principal diferença entre as aplicações terrestres e aéreas.

De maneira simples, De Ruiter (2002) explica o processo de formação de gotas, como o resultado da interação entre a ponta e o líquido, sendo que o desempenho da ponta é susceptível as propriedades dos líquidos e pela adição de adjuvantes.

Seguindo o mesmo raciocínio, a interação do produto que deverá ser aplicado e a adição de adjuvantes às caldas de pulverização, podem afetar de forma negativa o resultado esperado de uma aplicação. Pois estas adições e misturas interferem nas características físico-químicas das caldas e, conseqüentemente, o processo de formação das gotas (ANTUNIASSI, 2006). Para Fritz et al. (2014), em aplicações terrestres o principal fator que influencia o espectro de gotas é o tipo de ponta utilizado, uma vez que o vento não tem impacto sobre ela, como ocorre na aplicação aérea.

Para as pontas de pulverização do tipo CP, além dos fatores que contribuem para a formação de gotas entre os diversos modelos de pontas de pulverização, como a pressão e a composição da calda, há também interferência na formação do espectro de gotas tanto pelo tamanho do diâmetro do orifício regulador de vazão, quanto pela angulação do defletor, mais a velocidade do vento. Pois sem o vento a ponta já proporciona a quebra do líquido em gotas de maiores tamanhos, porém

particularmente para estas pontas quando se tem a ação do vento impactando nas gotas, a intensidade de cisalhamento é maior.

A classificação do espectro de gotas é o fator que mais afeta a eficácia de uma aplicação de produtos fitossanitários e a deriva. Apesar de gotas menores terem um maior potencial de cobertura e então uma maior eficiência para controlar insetos pragas, doenças e plantas daninhas, elas também são mais propensas à deriva do que as gotas maiores (ANTUNIASSI et al., 2011; CHECHETTO et al., 2013; GANDOLFO et al., 2014).

2.4 Características físicas da calda de pulverização e espectro de gotas

A tensão superficial e a viscosidade são características físicas das caldas de pulverização, e essas características influenciam diretamente na formação e dispersão da pulverização das caldas e, conseqüentemente, na eficácia do tratamento fitossanitário (CUNHA; ALVES; REIS, 2010; HOFFMAN et al., 2011).

Christofolletti (1999) definiu que quanto maior o valor de viscosidade e tensão superficial ocorrerá um aumento do diâmetro das gotas, devido às características físicas da calda influenciar no processo de formação das gotas, fazendo com que o gasto de energia seja maior, dificultando o cisalhamento do líquido e interferindo no espectro de gotas formado.

Entretanto, Miller e Butler Ellis (2000); Chechetto (2011), comparando a pulverização de diferentes adjuvantes usando pontas de pulverização terrestre com indução de ar, obtiveram gotas maiores com os produtos de menor tensão superficial e viscosidade. Os autores atribuíram os resultados ao projeto da ponta com indução de ar ser baseada em pontas formadoras de espuma, e os adjuvantes com menores valores de tensão e viscosidade avaliados eram compostos por um percentual maior de surfatante, o que facilita o processo de indução de ar nas gotas formadas, pois a formação de espuma é uma característica dos surfatantes. Entretanto os autores ressaltam que nem toda ponta de indução de ar responde da mesma forma.

Sendo assim, torna-se importante as informações sobre as propriedades físicas da calda de pulverização. A calda de pulverização é formada pela mistura de água com um ou mais produtos fitossanitários, com ou sem a adição de adjuvantes. Contudo, a composição da calda formada interfere no espectro de gotas,

principalmente se a pulverização for realizada por pontas de pulverização hidráulica (HEWITT, 2007).

Para Miller (1993) a deriva ocorre em função do número de variáveis físicas relacionadas a aplicação. Desta maneira, tanto a viscosidade, a tensão superficial, quanto o espectro de gotas terão relação com o potencial de deriva de uma aplicação agrícola. Kirk (2003) citou que o espectro de gotas é uma ferramenta que tem sido utilizada como a mais importante variável para análise de redução da deriva nas aplicações.

Os parâmetros mais utilizados para caracterizar o espectro de gotas das aplicações de produtos fitossanitários são diâmetro mediano volumétrico (DMV), medido em micrometros (μm), que se define em 50% do volume aplicado será composto por gotas com diâmetro menor ou igual ao valor do DMV, ou seja, é o diâmetro que divide o volume pulverizado em duas partes iguais. O diâmetro volumétrico 01 (DV01) é outro parâmetro. Que caracteriza o tamanho das gotas, pelo qual 10% do volume pulverizado é constituído por gotas com diâmetro menor ou igual a seu valor. E o diâmetro volumétrico 09 (DV09), indica que 90% do volume pulverizado é constituído por gotas com diâmetro menor ou igual a seu valor. Com estes valores pode-se obter a amplitude relativa (AR) do espectro de gotas que é a diferença entre os valores de DV09 e DV01 dividido pelo DMV (TATE; JANSEN, 1966; GOERING; SMITH, 1978; HEWITT, 2007; FERGUSON; HEWITT, 2014.)

Hewitt (2007), definiu a amplitude relativa (AR) como a variabilidade do tamanho de gotas individuais em relação ao DMV, que possibilita caracterizar todo o espectro de gotas formado, através de uma medida adimensional que indica a uniformidade do tamanho de gotas no espectro. Quanto menor for o seu valor, mais homogêneo será o espectro de gotas da pulverização.

Para que ocorra a caracterização da pulverização através dos parâmetros de espectro de gotas, o DMV e a AR devem ser analisados em conjunto. O valor do DMV é uma referência, e quando analisado junto a AR, pode-se avaliar a homogeneidade da pulverização (CUNHA; ALVES; REIS, 2010).

Diversos autores citam a importante correlação dos valores do DMV e o V100 com o potencial de deriva das aplicações. Foi observado que quanto menor o valor do DMV e maior o valor de V100, maior será o potencial de deriva (MILLER, 1998; JÚNIOR; ANTUNIASSI, 2010; ANTUNIASSI et al., 2011; MOTA, 2015; OLIVEIRA; ANTUNIASSI; GANDOLFO, 2015).

Diversos países têm classificado pontas de pulverização através do percentual de gotas finas analisadas no seu espectro de gotas formado, caracterizando um maior risco de deriva quando este percentual for elevado (ANTUNIASSI, 2009).

É importante ressaltar que a chave para minimizar a ocorrência de deriva está na busca pelo equilíbrio entre o tamanho da gota durante uma aplicação ser pequeno o suficiente para permitir uma boa cobertura do alvo, principalmente com produtos de contato, mas grande o suficiente para não ser carregada pelo vento e ainda ter a durabilidade necessária para percorrer a distância entre a ponta de pulverização e o alvo, levando em consideração a condição ambiental no momento desta aplicação (OLIVEIRA, 2011).

Da mesma forma, Matthews (2000) relatou que gotas de tamanho entre 50 e 100 μm (gotas muito finas) tem maior facilidade de serem transportadas para o interior do dossel da cultura e serem depositadas nas folhas. E quando as condições meteorológicas não forem favoráveis à aplicação de gotas muito finas e finas, deve-se fazer a escolha de gotas médias a grossas. Entretanto, deve ser ressaltado que mesmo quando gotas grossas são aplicadas, no total do espectro formado existe uma porção do volume de gotas finas (V_{100}) que são sujeitas à deriva.

Zhu et al. (1994) afirmaram que gotas com diâmetro superior a 500 μm provavelmente terão pouco problema com deriva, e gotas menores que 50 μm em geral evaporam antes de atingirem o alvo desejado na aplicação. No entanto, para Miller, Stoughton (2000) quando se tem ausência de vento durante uma aplicação as gotas muito finas podem ficar suspensas no ar, sendo dispersas a quilômetros do local que foi feita a aplicação.

O critério técnico utilizado para mensurar os diferentes tamanhos de gotas formados no espectro de uma ponta de pulverização, tem sido feito por diferentes equipamentos e pesquisadores. Há pesquisadores que analisam o tamanho das gotas através de difração de raios laser (FERREIRA et al., 2007; IOST, 2008; MOTA et al., 2010; SANTIAGO, 2013), e outros utilizam equipamentos que fazem as mesmas análises através da captura de imagens em tempo real obtidas durante a pulverização (CARVALHO, 2016; MOREIRA, 2016). Ambos os métodos avaliam as gotas no ar e em movimento, no trajeto que ela percorre ao longo da pulverização. São métodos precisos, capazes de obter os valores de tamanho das gotas com o diâmetro em micrometro (μm).

Para dimensionar as distâncias e posições dos equipamentos utilizados deve-se levar em conta fatores como o modelo do equipamento que analisará o tamanho das gotas, a velocidade do vento, a distância entre o equipamento de leitura e a ponta de pulverização, a direção do fluxo de ar durante a pulverização, a proporção do leque formado na pulverização que serão feitas as leituras e ainda a velocidade das gotas pulverizadas.

Segundo Door et al. (2013), uma vez que a gota é formada e liberada, ela tende a diminuir de velocidade devido a força de arrasto e fica sujeita ao fluxo de ar circundante. Na pulverização as gotas reduzem sua velocidade inicial e alcançam sua velocidade terminal, de modo que a gota mais grossa percorre uma distância maior antes de atingir sua velocidade terminal em relação às gotas finas. Há, portanto, uma correlação entre o tamanho da gota, a velocidade da mesma e a forma com que o fluxo de ar será direcionado até o leitor das gotas (NUYTTENS et al., 2007) e esta correlação determina a distância ideal do leitor a partir da ponta de pulverização.

A avaliação do tamanho da gota de pulverizadores agrícolas é potencialmente impactada pelo método de medição (HEWITT, 1997) e instrumentação (DODGE, 1987) utilizada. Porém, Fritz et al. (2014) demonstraram que se houver um ajuste rigoroso das configurações de medição e configurações operacionais, podem levar a resultados de tamanho de gota com precisão e repetibilidade.

2.5 Adjuvantes na calda de pulverização

Os adjuvantes são produtos utilizados junto às caldas de pulverização com a intenção de melhorar as pulverizações agrícolas, com o aumento de sua eficácia. As funções dos adjuvantes são diversas, e variam entre os produtos desta categoria, podendo promover melhorias no molhamento, na aderência, no espalhamento, na redução de espuma e na dispersão da calda de pulverização (CUNHA; ALVES; REIS, 2010).

Estas melhorias na pulverização que acontecem após a adição de adjuvantes na calda, ocorrem devido a alterações que eles promovem. Por este motivo, é uma prática recomendável em diversas situações. Carbonari et al., (2005) citaram que o correto uso dos adjuvantes poderá minimizar os efeitos da pulverização dispersa no ambiente, o que pode comprometer a eficácia de um tratamento fitossanitário.

Porém, de acordo com Downer et al. (1998), o efeito da adição de adjuvantes na pulverização é um processo complexo, que dificulta o estabelecimento de relações de forma clara e direta. Isso se dá pelo fato de que a adição do adjuvante na calda de pulverização contendo produto fitossanitário é um processo que envolve aspectos físicos, químicos e fisiológicos, podendo alterar o resultado para cada parâmetro testado.

Para exemplo desta complexidade de relação, Butler-Ellis et al., (2001) afirmam que adjuvantes com a função de espalhante ou surfatante podem causar alterações nas propriedades de superfície das moléculas, e ainda na tensão superficial do líquido, pois os adjuvantes espalhantes de maneira geral reduzem esta tensão e sendo assim podem influenciar também na formação das gotas.

Outro exemplo da interação dos adjuvantes com a calda de pulverização segundo Hock (2004) é que a eficiência do ingrediente ativo de um produto fitossanitário pode ser reduzida e aumentar o risco de toxidez na planta tratada caso um surfatante seja usado de forma incorreta.

Existem dois grupos de adjuvantes, os ativadores e os úteis ou com propósitos especiais, sendo assim classificados (VAN VALKENBURG, 1982; STICKER, 1992; HAZEN, 2000; McMULLAN, 2000; STOCK; BRIGGS 2000; TU; RANDALL, 2003). Segundo Penner (2000), os adjuvantes ativadores aumentam a absorção dos produtos fitossanitários, ou seja, melhoram a eficiência do controle desejado. Como exemplo deste grupo encontram-se os surfatantes, óleos vegetais, óleos de sementes metilados, óleos minerais, derivados de silicones e os fertilizantes nitrogenados.

Os óleos minerais e vegetais são amplamente utilizados, pois apresentam diversas funções e modos de auxiliarem uma aplicação, podendo até mesmo ser usado de forma isolada para o controle de alguns insetos e fungos, ou como adjuvantes junto às caldas de pulverizações (MENDONÇA et al., 2007).

Tu; Randall (2003) definiram que como adjuvantes, os óleos mineral e vegetal exercem a função de aumentar a penetração dos herbicidas, principalmente quando as condições meteorológicas são quentes e secas e/ou quando as cutículas foliares são espessas. Estes mesmos autores caracterizaram os adjuvantes surfatantes como atuantes no contato entre as gotas e a superfície aplicada, ou seja, de acordo com a alteração que ocorre na tensão superficial da calda, favorece um

espalhamento mais uniforme, além de também dificultar a evaporação das gotas e assim, conseqüentemente, aumentar o tempo de retenção da pulverização pelo alvo.

Entretanto, Fritz et al. (2009) ressaltaram que dependendo da concentração junto a calda de pulverização, poderá haver interferência na formação das gotas, tornando-se um fator importante e com elevado potencial de modificação do espectro dessas gotas, podendo aumentar ou reduzir seu diâmetro.

Sendo assim, pode ocorrer um uso equivocado desses produtos, sem apresentar qualquer benefício da mistura com a calda ou até mesmo prejudicar a ação do produto fitossanitário principal. Devido à falta de critério na classificação dos efeitos e funções específicas, para cada ação que poderá ocorrer da mistura de um adjuvante à uma calda de pulverização (ANTUNIASSI; BAIO, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

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

3.2 Tratamentos

O experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), formando um esquema fatorial 3 x 4 (3 ângulos defletores x 4 caldas), com 12 tratamentos (combinação de fatores) e cinco repetições.

Foram analisadas a tensão superficial, a viscosidade e o espectro de gotas das caldas de pulverização de um fungicida, e do mesmo em mistura com três adjuvantes diferentes. Os produtos foram dosados em $L\ ha^{-1}$ de acordo com o posicionamento técnico de cada um no mercado de aplicação aérea. Embora algumas bulas e rótulos apresentem posicionamento de adjuvantes em concentração na calda, é prática de mercado na aplicação aérea a dosagem desses produtos em dose por área ($L\ ha^{-1}$), devido ao uso frequente de volumes de calda muito reduzidos. Os próprios fabricantes desses adjuvantes argumentam que procedem desta maneira visando garantir quantidades mínimas desses componentes nas caldas. Os nomes comerciais, as doses dos produtos comerciais e os ingredientes ativos estão descritos na Tabela 1.

As análises de tensão superficial e viscosidade foram realizados em laboratório com temperatura do ar monitorada a 21°C, umidade relativa do ar variando entre 60% e 70% e a temperatura das caldas a 21°C. O espectro de gotas foi realizado em laboratório com as condições meteorológicas monitoradas durante a execução de cada tratamento, respeitando as condições ideais limites para aplicação de produtos fitossanitários, ou seja, umidade relativa do ar acima de 50% e temperatura ambiente abaixo de 30°C, as caldas pulverizadas mantiveram média de 25°C de temperatura.

Tabela 1 - Descrição e abreviaturas dos produtos fitossanitários utilizados nos tratamentos

Nome Comercial	Classe	Componente(s) principal (is)	Fabricantes	Dose^a (L p.c. ha⁻¹)
Nativo [®]	Fungicida	Trifloxistrobina + tebuconazol	Bayer	0,5
Nimbus [®]	Adjuvante	Óleo mineral	Syngenta	0,5
Natur'l óleo [®]	Adjuvante	Óleo vegetal	Stoller	1
TA 35 [®]	Adjuvante	Lauril éter sulfato de sódio	Inquima	0,05

^aDose dos produtos fitossanitários de acordo com a recomendação de mercado destes produtos.

Os tratamentos foram comparados das seguintes formas: uma calda contendo apenas o fungicida Nativo, e outras três contendo a mistura do fungicida mais um dos adjuvantes. Cada calda foi pulverizada com os três ângulos de deflexão (30°, 55° e 90°) da ponta de pulverização do tipo jato plano de impacto, CP-03. Os tratamentos estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos constituídos por diferentes caldas e ângulos de deflexão

Tratamentos	Caldas	Ângulos de deflexão
NAT30	Nativo [®]	30°
NAT+TA30	Nativo [®] + TA35 [®]	30°
NAT+NTO30	Nativo [®] + Natur'óleo [®]	30°
NAT+NIM30	Nativo [®] + Nimbus [®]	30°
NAT55	Nativo [®]	55°
NAT+TA55	Nativo [®] + TA35 [®]	55°
NAT+NTO55	Nativo [®] + Natur'óleo [®]	55°
NAT+NIM55	Nativo [®] + Nimbus [®]	55°
NAT90	Nativo [®]	90°
NAT+TA90	Nativo [®] + TA35 [®]	90°
NAT+NTO90	Nativo [®] + Natur'óleo [®]	90°
NAT+NIM90	Nativo [®] + Nimbus [®]	90°

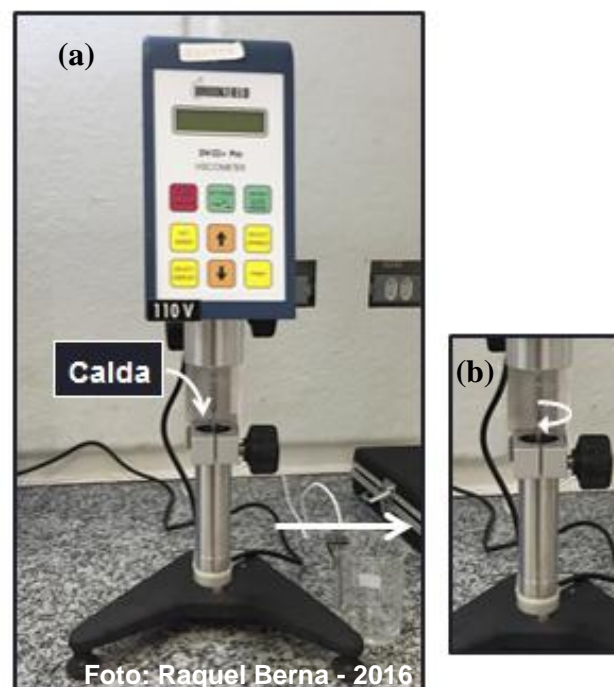
3.3 Análise da viscosidade

A viscosidade das soluções foi mensurada por um viscosímetro (Brookfield, modelo LVDV-III+) (Figura 3). O instrumento é equipado com cilindros de diâmetros diferentes (spindles), adequados conforme a viscosidade do fluido. Para esse trabalho foi utilizado um cilindro de diâmetro externo de 100 mm (Spindle de referência S-28) e utilizada a rotação de 60 RPM, conforme a recomendação do fabricante.

A temperatura do ambiente foi fixada em 20°C. Em cada amostra no viscosímetro foi colocado um sensor de temperatura durante a leitura do mesmo.

Para cada tratamento foram feitas cinco repetições com 15 mL de calda. Entre cada repetição os cilindros do equipamento (spindles) foram lavados três vezes com água deionizada, e a cada tratamento a lavagem foi feita com água e detergente.

Figura 3 - Viscosímetro rotacional Brookfield, modelo LVDV-II+ utilizado nas análises dos tratamentos (a); detalhe do spindle submerso na calda de pulverização e o sentido de rotação, indicado pela seta (b)



3.4 Análise da tensão superficial

As análises de tensão superficial (TS) foram realizadas pelo método gravimétrico, descrito por Costa (1997), Corrêa; Velini (2002). Nos cálculos da estimativa da tensão superficial foi tomado como referência o peso de gotas de água, a qual tem o valor de tensão superficial conhecido ($72,6 \text{ mN m}^{-1}$). O peso de gotas de água foi então relacionado com o peso das gotas da calda de pulverização em estudo. O valor de tensão superficial da calda foi calculado com base na relação da Equação 1.

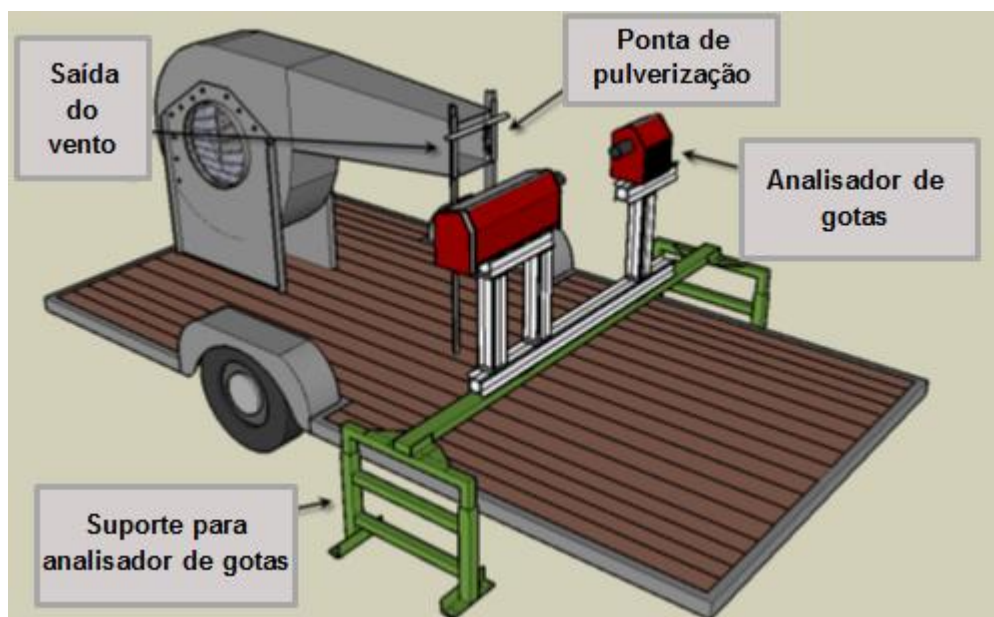
$$TS_c = \frac{m_c \cdot TS_{\text{água}}}{m_{\text{água}}} \quad (1)$$

Onde TS_c = tensão superficial da calda avaliada (mN m^{-1}), m_c = massa média de dez gotas da calda (g), $TS_{\text{água}}$ = tensão superficial da água ($72,6 \text{ mN m}^{-1}$) e $m_{\text{água}}$ = massa média de dez gotas de água (g).

3.5 Análises de espectro de gotas

As análises de espectro de gotas foram baseadas no método utilizado por Fritz, Hoffmann e Bagley (2010) (Figura 4).

Figura 4 – Esquema ilustrativo do ventilador e analisador de gotas usado por Fritz; Hoffmann; Bagley, 2010



Fonte: Adaptado, Fritz; Hoffmann; Bagley, (2010)

Para a simulação de aplicação aérea foi estipulada uma taxa de aplicação de 20L ha^{-1} . As pulverizações foram realizadas utilizando-se uma ponta de pulverização do tipo jato plano de impacto CP-03, e pressão de 200 kPa. O circuito hidráulico de pulverização foi constituído por um pulverizador com tanque de 600 L (marca Jacto, modelo Condor S-12/75) (Figura 5).

Figura 5 – Circuito hidráulico de pulverização



O vento simulado do deslocamento do avião foi obtido através de um equipamento composto por um ventilador de alta capacidade (do tipo "siroco"), construído de alumínio fundido, diretamente acionado por um motor elétrico (marca Voges, modelo BK 90 L2, cv 3).

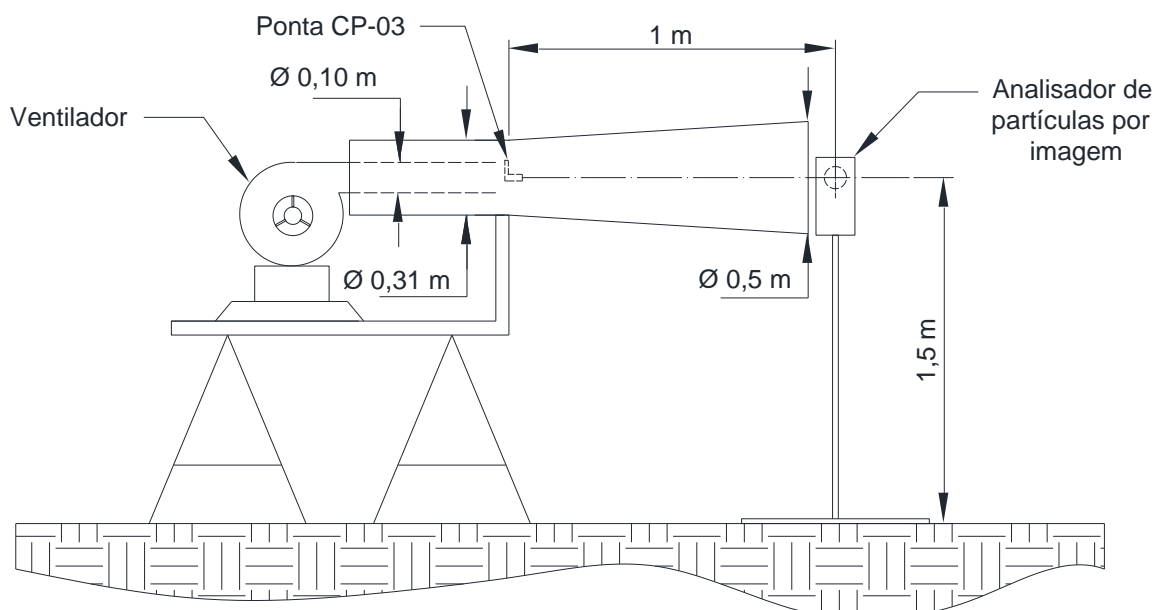
O vento simulado foi monitorado em tempo real por um termo-anemômetro-manômetro com tubo de Pitot (marca Instrutemp e modelo ITMAN-10PSI), respeitando condições reais de aplicações aéreas com velocidade média de vento de 180 km h^{-1} (111,8 mph). Esta velocidade representa o voo do avião Ipanema, fabricado pela empresa brasileira Embraer (ANTUNIASSI, 2015).

No local de saída do vento no ventilador há um tubo interno com diâmetro de 0,1 m, para intensificar a velocidade de vento proporcionada pelo ventilador e direcioná-lo até a ponta de pulverização. Após o tubo interno, onde ocorre a tomada de velocidade do vento, foi acoplada uma ponta CP-03 que ficou ligada ao sistema de pulverização e um manômetro para monitoramento da pressão.

Para formar uma corrente de ar contínuo entre a ponta de pulverização e o equipamento de leitura das gotas, foi construída uma estrutura em formato de cone no entorno da ponta de pulverização até o equipamento leitor de gotas, com um diâmetro inicial de 0,31 m e diâmetro final de 0,50 m.

A determinação do espectro de gotas ocorreu através de um analisador de gotas por imagens, modelo VisiSize Portátil (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.) posicionado de forma centralizada com a câmara do equipamento a jusante da ponta de pulverização (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Desenho da vista lateral do ventilador e analisador de gotas, com detalhes e distâncias das suas principais partes



Prospecto: Ricardo Rabelo, 2016

Figura 7 – Foto do ventilador e o analisador de gotas por imagens, modelo VisiSize Portátil (Oxford Lasers, Imaging Division, Oxford, U.K.)

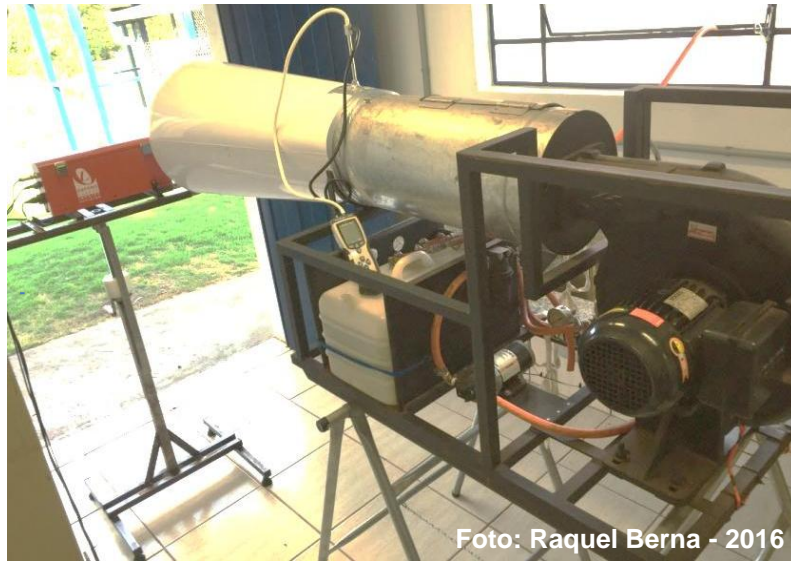
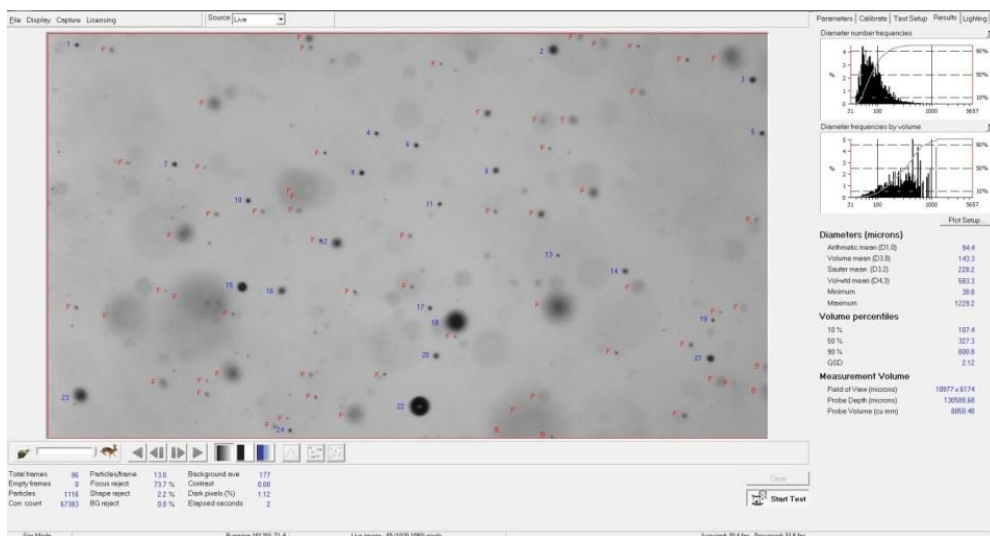


Foto: Raquel Berna - 2016

O analisador de gotas possui uma câmera que captura as imagens das gotas em trajetória no ar, essas imagens são enviadas em tempo real para um computador e são analisadas por meio do programa computacional VisiSize 6.0 que estima o tamanho das gotas (Figura 8).

Figura 8 - Imagem do software (Visisize Particle Sizing) durante a análise do tamanho das gotas pulverizadas em tempo real



O sistema analisou o espectro de gotas usando a técnica chamada de Particle/Droplet Image Analysis ou PDIA. Esta metodologia é a mesma utilizada por Carvalho (2016) e Moreira (2016).

Depois de iniciar a pulverização e aguardar que o sistema estabilizasse a pressão, o equipamento de leitura era acionado para a captura das imagens. A captura das imagens cessava automaticamente assim que o equipamento completasse a leitura de 10000 gotas o que representava uma repetição, no total foram feitas cinco repetições por tratamento. Entre um tratamento e outro, a limpeza do sistema foi efetuada para evitar a contaminação na pulverização, e foram realizadas leituras da calda contendo apenas água, para efeito de calibração do equipamento.

As análises realizadas pelo programa computacional foram: o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a porcentagem volumétrica de gotas com diâmetros menores que 100 μm (V100) e a amplitude relativa (AR), que foi calculada pela Equação 2:

$$AR = \frac{DV\ 0,9 - DV\ 0,1}{DV\ 0,5} \quad (2)$$

Onde DV 0,1 = Diâmetro de 10% do volume acumulado, DV 0,5 = Diâmetro de 50% do volume acumulado e DV 0,9 = Diâmetro de 90% do volume acumulado.

3.6 Análise dos dados

Na análise de espectro de gotas foram realizadas as análises estatísticas dos dados, incluindo avaliações das interações entre os fatores (ângulos de deflexão x caldas). Para os dados de tensão superficial e viscosidade as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Intervalo de Confiança a 95% de probabilidade (IC 95%). E para os dados de diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual de gotas menores que 100 μm (V100) e amplitude relativa (AR), foram realizadas a análise de variância com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após a comparação dos tratamentos para todas as variáveis avaliadas, as correlações de Pearson ($P < 0,05$) foram calculadas para verificar as associações entre as caldas e as demais variáveis.

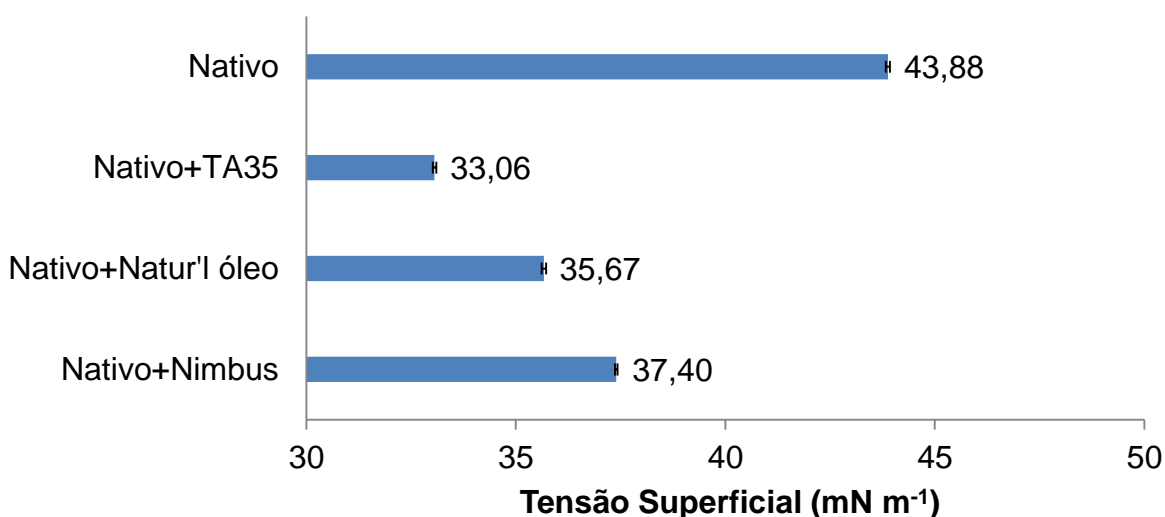
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tensão Superficial

Na Figura 9 estão apresentados os valores de tensão superficial para todas as caldas avaliadas. Os adjuvantes analisados reduziram significativamente a tensão superficial quando adicionados à calda com o fungicida.

O menor valor de tensão superficial foi observado para o adjuvante multifuncional, TA35, em mistura com o fungicida. Este tratamento reduziu 24,66% à tensão superficial em relação à calda sem adjuvante. A calda com apenas o fungicida apresentou o maior valor de tensão superficial.

Figura 9 - Valores de Tensão Superficial (médias \pm IC5%) das caldas



A calda com o óleo mineral Nimbus foi a que menos reduziu a TS, apresentando uma TS 4,6% maior que a calda com o adjuvante a base de óleo vegetal, Natur'l óleo, e 11,6% maior que a calda com o adjuvante TA35.

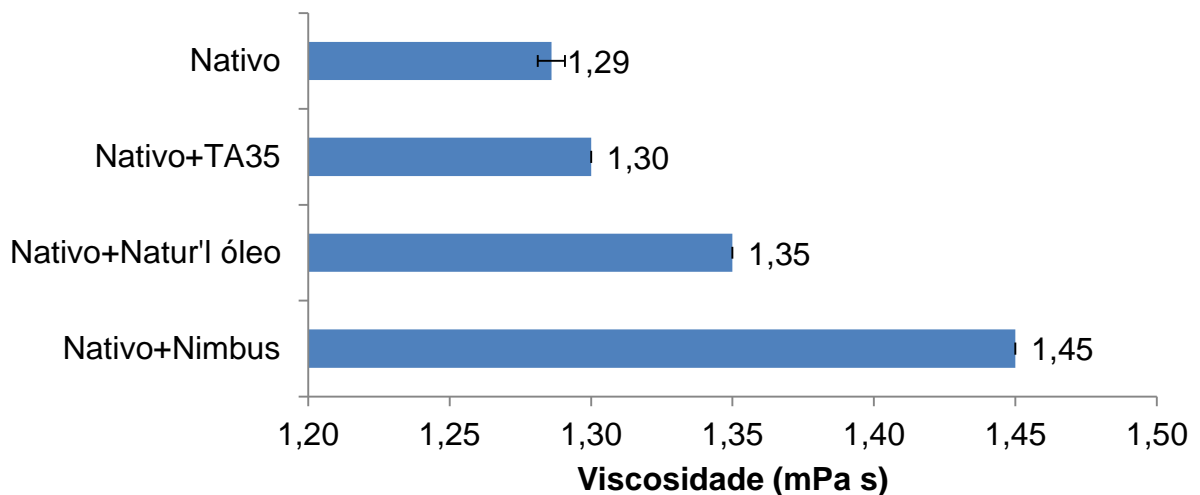
Todos os adjuvantes utilizados possuem por descrição do fabricante a função de espalhamento, estando de acordo com os resultados encontrados, pois todos reduziram a TS e esta propriedade promove o espalhamento (BUTLER-ELLIS et al., 2001). Porém, cada adjuvante a reduziu em proporções diferentes e esta diferença não consta nas bulas do produto fornecida pelo fabricante. Nota-se que os óleos têm a característica de ter a TS maior que a do adjuvante multifuncional.

Mendonça et al. (2007) analisou a TS de 13 óleos minerais e vegetais, em 11 concentrações diferentes. Os resultados obtidos apresentaram variações entre os valores. Essa variação foi atribuída ao fato de que a TS não é uma característica determinada pela origem do óleo, e sim, pela qualidade e quantidade de surfatante em sua composição. Os óleos vegetais e minerais apresentam uma porcentagem variável de surfatante em sua composição. Esta afirmação está de acordo com a presente pesquisa, justificando o adjuvante TA35, proporcionar o menor valor de TS, por conter a maior quantidade de surfatante em sua composição do que os óleos analisados.

4.2 Viscosidade

Na Figura 10 estão apresentados os valores médios da viscosidade para todas as caldas avaliadas. A mistura dos adjuvantes TA35, Natur'l óleo e Nimbus ao fungicida, em comparação com o fungicida sem os adjuvantes proporcionaram acréscimos de 0,77%, 4,65% e 12,4% respectivamente nos valores de viscosidade.

Figura 10 - Valores de viscosidade (médias \pm IC5%) das caldas



Oliveira (2011) analisou diferentes caldas compostas por água e adjuvantes, e obteve resultado oposto a esta pesquisa que analisou os mesmos adjuvantes em mistura com um fungicida. Quando os adjuvantes foram avaliados em soluções aquosas, o valor de viscosidade do adjuvante TA35 (0,06% v v⁻¹) foi maior que o valor do óleo Nimbus (0,5% v v⁻¹). Usando os mesmos adjuvantes em solução com

o fungicida Nativo, esta pesquisa obteve a viscosidade da calda com o adjuvante Nimbus (óleo mineral) 10% maior que a calda que continha o adjuvante TA35 (multifuncional).

Segundo Hilz e Vermeer (2013), as características das gotas podem ser diferentes em função do modelo de ponta de pulverização utilizado, além disto, sabe-se que quando se faz a mistura de adjuvantes com produtos fitossanitários o comportamento não é o mesmo para aplicação do adjuvante apenas com água. Esta afirmação ajuda a explicar a diferença dos resultados encontrados nesta pesquisa, em comparação ao trabalho de Oliveira (2011), que trabalhou com soluções de adjuvantes sem os produtos fitossanitários.

Segundo Reichard e Zhu (1996), os adjuvantes que aumentam a viscosidade são adicionados às caldas para aumentar o diâmetro mediano volumétrico (DMV) e, conseqüentemente, reduzir a deriva. Cunha e Alves (2009) ao avaliarem o efeito da adição de oito adjuvantes diferentes nas características físico-químicas das caldas obtiveram resultados semelhantes a esta pesquisa. Todos os produtos, independente da dose, elevaram a viscosidade das soluções. Entretanto, segundo os mesmos autores não é definido a magnitude da elevação necessária na viscosidade da calda, para que ocorra o aumento do diâmetro das gotas.

4.3 Espectro de gotas

Pela análise de variância verificou-se que houve efeito das diferentes caldas e dos ângulos defletores sobre o diâmetro mediano volumétrico (DMV) das gotas de pulverização, sobre a porcentagem do volume de gotas com diâmetros menores ou iguais a 100 μm (V100), bem como sobre a amplitude relativa (AR). Também é notória a interação dos fatores caldas e ângulos defletores para os parâmetros de variação do espectro de gotas, DMV e V100 (Tabela 3).

Não houve interação significativa entre os fatores para o parâmetro de variação AR, porém, pode-se observar que ocorreram diferenças para cada valor de ângulo defletor e caldas quando foram analisados separadamente. Observou-se diferença entre o ângulo defletor de 90° em relação aos ângulos de 30° e 55°. O ângulo de 90° possui os menores valores de AR para todas as caldas avaliadas, quando comparado aos outros ângulos. Os ângulos de 30° e 55° não apresentaram diferença significativa entre si para AR.

As caldas também diferiram significativamente entre si para o parâmetro de AR. Apenas a calda composta pelo adjuvante a base de óleo vegetal, Natur'l óleo, apresentou diferença significativa em relação à calda sem adjuvante, embora a calda com o óleo vegetal não tenha apresentado diferença em relação a calda com o adjuvante a base de óleo mineral, Nimbus. Os resultados dessa pesquisa apresentaram valores de AR muito próximos para os diferentes tratamentos analisados.

Tabela 3 - Análise estatística das variáveis: diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual de gotas menores que 100 µm (V100) e amplitude relativa (AR) em relação aos ângulos de deflexão da ponta de pulverização CP-03 (AD) e caldas da pulverização (CL)

Fatores de Variação	DMV	V100	AR
AD	(µm)	(%)	
30°	232,03500	15,22116	1,68000 a
55°	191,30500	20,02299	1,66500 a
90°	150,38000	27,10235	1,54300 b
CL			
Nativo	216,24670	16,41775	1,66667 AB
Nativo+TA35	199,80000	18,47345	1,68000 A
Nativo+Natur'l óleo	179,72670	22,55925	1,55600 C
Nativo+Nimbus	169,18670	25,67822	1,61467 BC
CV (%)	3,63	5,35	4,11
Teste F (AD)	691,3977 **	578,0344 **	25,1320 **
Teste F (C)	136,6207 **	208,3620 **	10,6311 **
Interação (AD x C)	6,2545 **	7,5159 **	1,5999 ns

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula para AD e maiúscula para CL, na coluna não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). C.V. (%) coeficiente de variação em porcentagem.

Hoffman et al.(2008) usaram três equipamentos diferentes simultaneamente para fazer leituras de tamanho de gota por difração de raios laser (Malvern, PMS e LaVision). Analisaram oito diferentes adjuvantes com duas pontas de pulverização aérea e duas diferentes velocidades de vento (160 km h^{-1} e 209 km h^{-1}). Com os equipamentos foram coletados dados de espectro de gotas. Após análise de

variância entre os resultados, apenas dois tratamentos com velocidade de vento de 209 km h⁻¹ apresentaram diferença significativa para o parâmetro de AR. Os autores concluíram que a maior velocidade de vento resultou em um espectro de gotas mais heterogêneo e atribuíram este efeito ao fato de que a maior velocidade de vento causa um maior estresse sobre o líquido pulverizado durante o processo de cisalhamento das gotas. Este fator amplia as diferenças das propriedades físicas da calda para cada solução pulverizada. Dessa forma pode ser compreendida a pouca interação entre o fator ângulo de deflexão e caldas com adjuvantes e a diferença pequena entre as caldas avaliadas para o parâmetro de AR, já que nesta pesquisa a velocidade de vento simulada foi de 180 km h⁻¹.

Desdobrando os dados dos ângulos defletores versus as caldas, em função do DMV (Tabela 4), pode-se observar que quanto maior o ângulo defletor menor será o valor de DMV encontrado, diferindo estatisticamente entre eles. Este resultado é esperado pelo fato do ângulo defletor interferir no impacto que a calda de pulverização sofre durante o processo de cisalhamento das gotas. Quanto maior o ângulo, maior será o impacto entre a calda e o anteparo da ponta de pulverização CP-03 e conseqüentemente um maior cisalhamento da calda pulverizada. Por esta razão, todas as caldas analisadas possuem diferença significativa entre os ângulos defletores e um DMV decrescente do menor ângulo para o maior.

Tabela 4 - Desdobramento dos ângulos defletores para cada calda (CL) em relação ao diâmetro mediano volumétrico (DMV)

CL	DMV (µm)		
	Ângulo 30°	Ângulo 55°	Ângulo 90°
Nativo	257,2200 aA	222,6400 bA	168,8800 cA
Nativo+TA35	245,3000 aB	199,5600 bB	154,5400 cB
Nativo+Natur'l óleo	225,0800 aC	173,8600 bC	140,2400 cC
Nativo+Nimbus	200,5400 aD	169,1600 bC	137,8600 cC

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). DMS para colunas = 11,6919; DMS para linhas = 10,6205

Para todos os ângulos, após adicionar os adjuvantes junto à calda com o fungicida, ocorreu diminuição no valor do DMV em relação à calda com apenas o fungicida. Entre as misturas, as caldas com o adjuvante multifuncional obtiveram os maiores valores de DMV, diferindo estatisticamente das caldas com adição de óleo.

O maior valor de DMV foi para o ângulo de 30° com a calda composta apenas com pelo fungicida e o menor valor para o ângulo de 90° com a mistura do fungicida mais o óleo mineral, embora o tratamento com óleo vegetal e ângulo de 90° não apresente diferença significativa. O DMV da calda apenas com fungicida foi 46,4% maior que o valor da calda com óleo mineral no ângulo de 90°.

Os ângulos de 55° e 90° não apresentaram diferença significativa no valor de DMV entre as caldas compostas com óleo vegetal e o óleo mineral, porém, no ângulo de 30° a variação entre todas as caldas foi significativa.

Chechetto (2011); Miller e Butler Ellis (2000), encontraram tendência semelhante a esta pesquisa quando utilizaram pontas de pulverização terrestre com indução de ar para comparar a influência de adjuvantes no espectro de gotas. Os adjuvantes com maior percentual de surfatantes em sua composição com as pontas de indução de ar aumentaram o DMV das gotas comparado aos tratamentos com adição de óleo vegetal. Os autores atribuíram os resultados ao projeto da ponta com indução de ar ser baseada em pontas formadoras de espuma, o que poderia ser facilitado pelo fato de ser uma característica do surfatante. Entretanto os autores ressaltam que nem toda ponta de indução de ar responde da mesma forma.

Pesquisando sobre Técnicas de Redução de Deriva (TRD), Hoffmann et al. (2011) avaliaram três pontas de pulverização sob condições de alta velocidade de vento (160-225 km h⁻¹), com simulação de aplicação aérea em túnel de vento. As características do espectro de gotas (DMV e V100) para cada ensaio serviu de entrada para um programa de modelagem (AGDISP), o qual calcula o desvio esperado das gotas na direção do vento a partir de um cenário de aplicação aérea. Quando comparado as pontas em avaliação com uma ponta de referência (Jato plano 11003 a 43 PSI), as três pontas de pulverização avaliadas reduziram a deriva entre 70 e 84 %. Desta forma, os autores demonstraram a importância dos dados de espectro de gotas para se estimar o risco de ocorrer deriva em situações determinadas.

Ao analisar a interferência de diferentes adjuvantes no espectro de gotas formado após a pulverização, Mota e Antuniassi (2013) encontraram resultados divergentes a esta pesquisa. Através de simulação de aplicação terrestre usando a ponta com indução ar Guardian Air (Hypro) 11003, operando na pressão de 400 kPa e um analisador de tamanho de gotas por difração de raios laser (Mastersizer S – Malvern Instruments), obteve-se o espectro de gotas de caldas compostas por óleos

adjuvantes (Óleo Vegetal Nortox $1,25 \text{ v v}^{-1}$ e Nimbus $0,6 \text{ v v}^{-1}$) com maior capacidade no aumento do DMV quando comparado ao adjuvante a base de surfatante (TA 35 $0,1 \text{ v v}^{-1}$).

Madureira, Raetano e Cavalieri (2015) avaliando pontas de pulverização de jato plano inclinado e jato plano com indução de ar junto a soluções compostas por água mais diferentes adjuvantes em condições de aplicação terrestre, também encontraram comportamento oposto a esta pesquisa para valores de DMV. A calda contendo o polímero vegetal, apresentou DMV superior em comparação àquelas contendo éster metílico e surfatante.

É importante ressaltar que embora as pesquisas de Madureira; Raetano; Cavalieri (2015) e Mota; Antuniassi (2013) sejam feitas através da mistura de adjuvantes apenas com água em simulação de aplicação terrestre, o trabalho de Sanderson et al.(1997) foi feito através de simulação de aplicação aérea, com a ponta de pulverização D8-46 e caldas de pulverização compostas pela mistura de produto fitossanitário com adjuvantes, e os resultados também contrariam os encontrados nesta pesquisa, pois observaram que as caldas compostas por adjuvantes surfatantes obtiveram valores de DMV menores que as caldas compostas por adjuvantes à base de óleo.

Em todos os casos de trabalhos com resultados opostos aos obtidos nesta pesquisa, é preciso ressaltar que as pontas utilizadas apresentam características de processo de formação de gotas diferentes da ponta de pulverização CP-03, que possui anteparos com ângulos defletores diferentes (ponta de impacto). Ainda, é preciso considerar também a interferência da velocidade do vento no cisalhamento das gotas, fator preponderante para a formação das gotas neste tipo de ponta para as aplicações aéreas.

A explicação para os resultados inversos obtidos neste trabalho deve começar pela observação de um comportamento de relação inversa entre os valores de viscosidade e DMV (vide item 4.4 Correlações entre as variáveis analisadas), ou seja, as caldas com maior viscosidade geraram as gotas de menor DMV, e vice-versa. Esse é um comportamento oposto ao da maioria dos casos descritos na bibliografia.

A relação inversa de DMV com a viscosidade na ponta CP-03 pode ser explicada pela interação entre os processos de impacto do líquido com o anteparo e o cisalhamento das gotas pelo vento. Líquidos de maior viscosidade terão menor

velocidade de escoamento na saída do anteparo, gerando maior diferença de velocidade entre as gotas e o vento. Por esta razão, ocorre maior cisalhamento das gotas, resultando em menor DMV. Trata-se, portanto, de um fenômeno que diferencia a condição de formação das gotas com relação a todos os trabalhos descritos anteriormente, onde não há a ação de cisalhamento pelo vento, ocorrendo apenas a ação da viscosidade na passagem do líquido pelo orifício da ponta. Neste sentido, Fritz e Hoffmann (2015) descrevem efeito similar ao obtido neste trabalho quando do ensaio de pontas e caldas de pulverizações em diferentes pressões, nas aplicações aéreas. Os autores descrevem, da mesma maneira que observado neste trabalho, que a diferença de velocidade das gotas com relação ao fluxo de ar foi fator predominante no processo de geração do espectro de gotas.

Na Tabela 5, estão apresentados os valores do percentual de gotas menores do que 100 μm (V100). O acréscimo dos adjuvantes junto à calda do fungicida aumentou o V100 para todos os ângulos defletores. Entre os ângulos avaliados os maiores valores de V100 foram para o ângulo defletor de 90°, com diferença significativa entre todos os ângulos defletores. O de 30° apresentou os menores valores de V100.

Tabela 5 - Desdobramento dos ângulos defletores para cada calda (CL) em relação ao percentual de gotas menores que 100 μm (V100)

CL	V100 (%)		
	Ângulo 30°	Ângulo 55°	Ângulo 90°
Nativo	12,4430 cC	15,7474 bC	21,0629 aD
Nativo+TA35	13,4093 cBC	17,2719 bC	24,7392 aC
Nativo+Natur'l óleo	15,2272 cB	22,2319 bB	30,2186 aB
Nativo+Nimbus	19,8052 cA	24,8408 bA	32,3887 aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). DMS para colunas = 1,8719; DMS para linhas = 1,7004

O tratamento que apresentou maior valor de V100 foi o fungicida com óleo mineral com ângulo de 90° e o menor valor o fungicida isolado com ângulo de 30°. Estes resultados demonstram a relação inversa entre os resultados de DMV e V100. Resultados desta correlação entre DMV e V100 foram igualmente encontrados nos trabalhos de Costa (2006), Iost (2008) e Oliveira (2011).

Apesar da relação entre os fatores de espectro de gotas DMV e o V100, não houve diferença significativa entre as caldas com óleo vegetal e óleo mineral para os resultados de DMV nos tratamentos com 55° e 90°. Entretanto, os valores de V100 se diferem significativamente, para os mesmos tratamentos. Esta ocorrência demonstra a importância de se avaliar mais de um parâmetro no espectro de gotas antes da tomada de decisão da melhor técnica de redução de deriva.

Autores descreveram que a quantidade de deriva em uma pulverização está relacionada com a porcentagem de gotas finas sobre os espectros de gotas (COMBELLACK et al, 1996; SANDERSON et al, 1997; MILLER, 2003; STAINIER et al., 2006). Gotas com diâmetros inferiores a 100 µm tem um elevado potencial de deriva e quanto maior o valor do DMV menor o risco de ocorrer deriva (MATTHEWS, 2000). Entretanto, deve-se levar em consideração que o V100 e o DMV são apenas um indicativo do risco de deriva, outras variáveis devem ser analisadas em conjunto.

O adjuvante multifuncional para os parâmetros de DMV e V100 foi o que apresentou melhores resultados como técnica de redução de deriva, pois quando comparado aos óleos vegetal e mineral, as caldas com o adjuvante multifuncional, TA35, obteve maiores valores de DMV e menores de V100 com todos os ajustes no ângulo de deflexão da ponta CP-03.

Todos os adjuvantes proporcionaram aumento de V100 quando adicionados a calda com o fungicida. Entretanto os tratamentos com o adjuvante multifuncional nos ângulos de 30° e 55° não diferem estatisticamente dos tratamentos onde havia somente o fungicida nestes mesmos ângulos.

Na comparação entre as misturas do fungicida mais adjuvante, foi observado o menor valor de V100 para a calda composta pelo adjuvante multifuncional em todos os ângulos defletores. Entretanto, o tratamento com o multifuncional e o óleo vegetal no ângulo de 30° não apresentam diferença significativa entre si.

A mistura que apresentou maior valor de V100 foi a calda composta pelo fungicida e o óleo mineral para todos os ângulos. Com o ângulo defletor de 90° a calda fungicida mais óleo mineral apresentou V100 23,62% maior que a calda fungicida mais o adjuvante multifuncional.

Cunha et al. (2003), ao avaliar os efeitos da adição de óleo vegetal emulsionável à calda de pulverização, com pontas de pulverização hidráulica jato plano para aplicação terrestre, observaram que a adição de óleo vegetal à calda de pulverização alterou o espectro de gotas pulverizadas, aumentando o diâmetro das

gotas e diminuindo a porcentagem de gotas propensas à ação dos ventos (V100), em relação a calda de pulverização sem a adição do adjuvante, constituindo-se, portanto, em fator auxiliar para redução da deriva. Pode-se observar na presente pesquisa que os resultados para a ação do óleo vegetal a calda se opôs aos resultados encontrados, ocasionando tendência de aumento do risco de deriva.

4.4 Correlações entre as variáveis analisadas

Para melhor compreensão da interferência das caldas na formação do espectro de gotas, determinou-se o coeficiente de correlação entre as características físicas da calda (TS e viscosidade) e os parâmetros do espectro de gotas (DMV, V100 e AR), e os resultados podem ser observados nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

Não houve correlações significativas ou que indicassem alguma tendência bem estruturada entre os parâmetros nas análises de tensão superficial e AR. A viscosidade teve correlação significativa com o V100 e, da mesma maneira, obteve elevado valor de coeficiente de correlação com o DMV. Este comportamento proporcionado pela viscosidade da calda durante a formação das gotas interferiu no espectro de gotas formado, conforme discutido anteriormente.

Para todos os ângulos defletores a viscosidade apresentou alta correlação (negativa) para o DMV, sendo significativa para os ângulos de 30° e 55 °. Ou seja, quanto maior a viscosidade menor será o DMV. Esta tendência nas correlações esta de acordo com os dados desta pesquisa, onde a calda com o adjuvante composto por óleo mineral obteve o maior valor de viscosidade, e após a pulverização apresentou os menores valores de DMV. O V100 para todos os ângulos se correlacionou de forma positiva com a Viscosidade, demonstrando que quanto maior a viscosidade maior será o V100. Estando desta maneira de acordo com os resultados já discutidos.

O ângulo de 90° apresentou valores de correlações fortes embora não significativas, tanto para V100 quanto para o DMV. Dessa forma, o ângulo de 30° e 55 ° demonstram sofrerem maior interferência das características físicas das caldas no espectro de gotas.

Tabela 6 - Correlação entre as médias das variáveis físicas das caldas as variáveis da análise de espectro de gotas

Variáveis	Viscosidade	Tensão Superficial
DMV	-0,91	0,5
V100	0,96*	-0,37
AR	-0,51	0,19

*Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial (mN m^{-1}); Viscosidade (mPa s); DMV (μm)

Tabela 7 - Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos com o ângulo defletor de 30°

Variáveis	Viscosidade	Tensão Superficial
DMV	-0,98*	0,34
V100	1,00*	-0,22
AR	-0,21	0,30

*Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Viscosidade (mPa s); DMV (μm)

Tabela 8 - Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos com o ângulo defletor de 55°

Variáveis	Viscosidade	Tensão Superficial
DMV	-0,98*	0,34
V100	0,95	-0,33
AR	-0,20	0,16

*Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Viscosidade (mPa s); DMV (μm)

Tabela 9 - Correlação entre as variáveis físicas das caldas com as variáveis da análise de espectro de gotas para todos os tratamentos com o ângulo defletor de 90°

Variáveis	Viscosidade	Tensão Superficial
DMV	-0,83	0,60
V100	0,90	-0,48
AR	-0,91	0,26

Não houve correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Tensão Superficial em mN m^{-1} ; Viscosidade (mPa s); DMV (μm).

Os resultados encontrados nessa pesquisa se opõem ao comportamento do espectro de gotas em relação à TS e viscosidade relatado por alguns autores, em pesquisas que comparam o uso de adjuvantes com pontas de pulverizações que não possuem defletor (LEFEBVRE, 1989; HEWITT et al., 1993; TU; RANDALL, 2003). Neste sentido, segundo Christofolletti (1999), as caldas com maior viscosidade e tensão superficial exigiriam uma maior quantidade de energia para a pulverização, resultando em gotas maiores. Como exemplo, Miller e Butler Ellis (2000) e Chechetto (2011) encontraram comportamento inverso ao observado neste trabalho com relação à TS e a viscosidade para as características de DMV e V100, comparando adjuvantes em ponta de pulverização com indução de ar.

Os resultados apresentados nesta pesquisa demonstraram que a interação da calda com o anteparo da ponta de pulverização CP-03 e o vento provocado pelo deslocamento da aeronave interferem no potencial de cisalhamento das gotas e, conseqüentemente, na geração do espectro de gotas.

A diferença entre a velocidade em que as gotas são lançadas e a velocidade de deslocamento do avião podem explicar os resultados encontrados nesta pesquisa. As evidências indicam uma tendência de que quanto maior for a viscosidade, maior será a aderência da calda ao anteparo da ponta CP-03, e isso diminui a velocidade de escoamento que as gotas são lançadas. Conseqüentemente, a diferença entre a velocidade da gota e a velocidade do vento aumenta, aumentando o cisalhamento, conforme descrito por Fritz e Hoffman (2015). Com isso, o valor do DMV diminui e o valor do V100 aumenta para caldas com maiores valores de viscosidade.

5 CONCLUSÕES

Os adjuvantes avaliados diminuíram a tensão superficial e aumentaram a viscosidade quando misturados à calda com fungicida.

Entre as caldas compostas por fungicida mais adjuvante, a calda com o adjuvante multifuncional apresentou os maiores valores de DMV e menores valores de V100, para todos os ângulos defletores da ponta CP-03, posicionando se desta maneira como melhor técnica de redução de deriva quando comparado às misturas do fungicida mais os óleos.

A variável que apresentou maior diferença entre os óleos foi o V100, onde o óleo mineral apresentou o maior valor de V100 para todos os ângulos da ponta avaliada.

Os ângulos defletores interferem no processo de formação das gotas e os resultados mostraram que quanto menor o ângulo de deflexão, menor foi o valor de V100 e maior o valor de DMV. O ângulo defletor de 30°, se posicionou como melhor técnica com potencial para reduzir a deriva, pois apresentou os menores valores de V100 e maiores valores de DMV para todas as caldas avaliadas.

Em todas as variáveis analisadas, as diferenças entre os tratamentos são mais acentuadas para o ângulo de 30°, demonstrando uma maior sensibilidade desse ângulo quanto às mudanças na composição calda.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem da soja. In: **Workshop brasileiro sobre a ferrugem asiática**. Uberlândia: EDUFU, 2005. p.193-219.
- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, v. 15, p.17-22, 2006.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.174-175.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, v. 13, 2009. p.299-317.
- ANTUNIASSI, U. R. et al. Systems of aerial spraying for soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.695–703, 2011.
- ANTUNIASSI, U. R. Evolution of agricultural aviation in brazil. **Outlooks on Pest Management**, Cambridge, v.26, n.1, p.12-15, 2015.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. das C. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**: Documento 102. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 47 p.
- BIRD, S. L.; ESTERLY, D. M.; PERRY, S. G. Off-target deposition of pesticides from aerial spray applications. **Journal Of Environmental Quality**, [s.l.], v. 25, p.1095-1104, 1996.
- BUENO, M. R. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, 2011.
- BUTLER-ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P C H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Londres, v. 190, n. 3, p. 267-276, 2001.
- CAMARGO, T. V. Airbone and tractorized fungicide spraying for soybean asian rust control. In: JULIATTI, F C. **Soybean Asian rust: etyology, epidemiology and management**. Uberlândia: Udufu, 2006. p. 263-274.
- CARBONARI, C. A. et al. Efeito de surfatantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p.725-729, 2005.
- CARVALHO, F. K. **Viscosidade, tensão superficial e tamanho de gotas em caldas com formulações de inseticida e fungicida**. 2016. 64 f. Tese (Doutorado) –

Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

CARVALHO, F. K. et al. Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p.1118-1125, 2016.

CARVALHO, W. P. A. de; BOLLER, W.; ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação por via aérea. In: ANTUNIASSI, U R; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. p.143-188.

CHECHETTO, R. G. **Potencial de redução da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CHECHETTO, R. G. et al. Influence of spray nozzles and adjuvants in drift reduction potential in wind tunnel. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p.37-46, 2013.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. 15 p.

COMBELLACK, J. H. et. al. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. **Crop Protection**, n. 15, p.147–152, 1996.

CORRÊA, T. M.; VELINI, E. D. Desenvolvimento de equipamento para medição da tensão superficial estática de soluções. **Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, Gramado, v. 1, n. 23, p.686-686, 2002.

COSTA, E. A. D. **Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. 1997. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Proteção de Plantas, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 103 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Botucatu, 2006.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p.203-210, 2007.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.325-332, 2003.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n. 1, p.61-66, 2006.

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**, 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**, [S.l.], v. 34, n. 9, p.655-659, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. F. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p.665-672, 2010.

CZACZYK, Z.; KRUGER, G.; HEWITT, A. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. **Journal Of Plant Protection Research**, [S.l.], v. 52, n. 4, p.415-420, 2012.

DE RUITER, H. Developments in adjuvant use for agrochemicals. **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet**, Cieszyński, v. 67, n. 2, p19-25, 2002.

DODGE L. G. Comparison of performance of drop-sizing instruments. **Applied Optics**, [S.l.], v. 26, n. 7, p.1328-1341, 1987.

DORR, G. J. et al. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. **Crop Protection**, [S.l.], v. 53, p.109-117, 2013.

DOWNER, R. A.; HALL, F. R.; THOMPSON, R. S. Temperature effects on atomization by flat-fan nozzles: implications for drift management and evidence for surfactant concentration gradients. **Atomization Sprays**, [S.l.], v. 8, n. 3, p.241-254, 1998.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica Adga 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 27, n. 2, p.471-478, 2007.

FRITZ, B. K. et al. Development and testing of a laboratory spray table methodology to bioassay simulated levels of aerial spray drift. **Journal of ASTM International**, [s.l.], v. 6, n. 6, Paper ID JAI102125, 2009.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; BAGLEY, W. Effects of spray mixtures on droplet size under aerial application conditions and implications on drift. **Applied Engineering In Agriculture**, [S.l.], v. 26, n. 1, p.21-29, 2010.

FRITZ B. K. et al. Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization Sprays**, [S.l.], v. 24, n. 2, p.181-192, 2014.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C. Update to the USDA-ARS fixed-wing spray nozzle model. **Transactions of the ASABE**, v. 58, n. 2, p.281-295, 2015.

GANDOLFO, M. A. et al. Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p.66-73, 2014.

HAZEN, J. L. Adjuvants: terminology, classification, e chemistry. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, n. 4, p.773-784, 2000.

HEWITT, A. J. et al. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pesticide Science**, Oxford, v. 37, p 209-211, 1993.

HEWITT, A. J. Droplet size and agricultural spraying, Part 1: Atomization, spray transport, deposition, drift and droplet size measurement techniques. **Atomization Sprays**, [S.l.], v. 7, n. 3, p.235-244, 1997.

HEWITT, A. J. et al. Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology And Chemistry**, [S.l.], v. 21, n. 3, p.648-658, 2002.

HEWITT, A. J. Spray optimization through application and liquid physical property variables-1. **The Environmentalist**, Lausanne, v. 28, n. 1, p.25-30, 2007.

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

HOCK, W. K. Horticultural spray adjuvantes. **Pennsylvania State Univesity**, 2004. p. 1-4.

HOFFMANN, W. Clint et al. Spray Adjuvant Effects on Droplet Size Spectra Measured by Three Laser-Based Systems in a High-Speed Wind Tunnel. **Journal Of Astm International**, [S.l.], v. 5, n. 6, p.1-12, 2008.

HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K.; LAN, Y. Evaluation of a Proposed Drift Reduction Technology High-Speed Wind Tunnel Testing Protocol. **Journal Of Astm International**, Texas, v. 6, n. 4, p.3-10, 2009.

HOFFMANN, W. C. et al. Spray Drift Reduction Evaluations of Spray Nozzles Using a Standardized Testing Protocol. **National Agricultural Aviation Association**, [S.l.], p.26-29, 2011.

IOST, C. A. R. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

JOHNSON, M. P.; SWETNAM, L. D. **Sprayer nozzles: selection and calibration**. Lexington: University of Kentucky, 1996. 6 p.

JÚNIOR, O. M.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Revista Energia na Agricultura, Botucatu**, v. 25, n. 3, p.118, 2010.

KIRK, I. W. Spray mix adjuvants for spray drift mitigation. **ASABE Paper No. AA03-003**. St. Joseph: ASABE, 2003.

LEFEBVRE, A. H. **Basic processes in atomization**. Philadelphia: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. p.27-78.

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**, Campo Grande, PB, v. 19, n. 2, p.180-185, 2015.

MASIÁ, G.; CID, R. Las boquillas de pulverización. In: MAGDALENA, J. C. et al. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Rio Negro: Cytel, 2010. p.77-88.

MATTHEWS, G. A. **Application of pesticides to crops**. London: Imperial College Press, 2000. 325 p.

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

McMULLAN, P. M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, p.792-797, 2000.

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

MILLER, P. C. H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. **Application technology for crop protection**. Trowbridge: CAB International, 1993. p.101-122.

MILLER, P. C. H. The measurement and prediction of spray drift e work at the Silsoe research institute. In: BUCLEY, D. (Ed.) In: **Proceedings of the north american conference on pesticide spray drift management**, Portland: Maine, 1998. p. 229-244.

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

MILLER, P. C. H. The measurement of spray drift. **Pesticide Outlook**, [S.l.], v. 14, n. 5, p.205-209, 2003.

MILLER, D. R.; STOUGHTON, T. E. Response of spray drift from aerial applications at a forest edge to atmospheric stability. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 100, p.49-58, 2000.

MOREIRA, C. A. F. **Espectro de gotas e deriva de diferentes formulações de 2,4-D e Glyphosate com pontas sem e com indução de ar**. 2016. 63 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2016.

MOTA, A. A. B. et al. Espectro de gotas da pulverização de herbicida com e sem a adição de adjuvante de calda. In: **Congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas**, 27., 2010. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p.3419-3423.

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

MOTA, A. A. B. **Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D amina em misturas em tanque**. Botucatu, 2015. 56 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

NUYTTENS, D. et al. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystem Engineering**, [s.i], v. 97, n. 3, p.333-345, 2007.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p.109-116, 2015.

OZEKI, Y. **Manual de aplicação aérea**. Indústria Aeronáutica Neiva, São Paulo: Ed. do autor, 2006. 101p.

OZKAN, H. E. **Reduzindo a deriva nas pulverizações**. Boletim 816-00 Departamento de Alimentação, Agricultura e Engenharia Biológica. Universidade de Ohio - USA. 2001.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed technology**, Champaign, v. 14, n. 4, p.785-791, 2000.

REICHARD, D. L.; ZHU, H. A system to measure viscosities of spray mixtures at high shear rates. **Pesticide Science**, Oxford, v. 47, n. 2, p.37-143, 1996.

SANDERSON, R. et al. Relative drift potential and droplet size spectra of aerially applied Propanil formulations. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 16, n. 8, p.717-721, 1997.

SANTIAGO, H. **Pulverização aérea com adição de adjuvante para o controle da lagarta falsa medideira (*Pseudoplusia includens*)**. 2013. 21 f. Dissertação (Magister Scientiae em Engenharia Agrícola). Faculdade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2013.

SIDAHMED, M. M. Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 3, p.531-536, 1998.

SINDAG (Sindicato Nacional Das Empresas De Aviação Agrícola). **Aviação agrícola com responsabilidade ambiental**. Disponível em: <<http://sindag.org.br/aviacao-agricola-com-responsabilidade-ambiental/>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

STAINIER C. et al. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulatin and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, [s.i.], v. 25, n. 12, p.1238–1243, 2006.

STICKER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, C. L. **Adjuvants for agrichemicals**. New York: Marcell Dekker, 1992. p. 247-249.

STOCK, D.; BRIGGS, G. Physiochemical properties of adjuvants: values and applications. **Weed Technology**. Champaign, v. 14, n. 4, p.798-806, 2000.

TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M. et al. **Weed control methods handbook the nature conservancy**. Davis: TNC, 2003. p.1-24.

VAN VALKENBURG, J. W. Terminology, classification, and chemistry. In: **Adjuvants for herbicides**. Champaign: Wssa, 1982. p.1-9.

ZHU, H. et al. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p.1401-1407, 1994.

WOMAC, A. R.; GOODWIN, J. C.; HART, W. E. Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles. Saint Joseph: **ASAE**, 1997. p.47.