

RAFAEL LUIZ PANINI

**VELOCIDADE DAS GOTAS GERADAS POR PONTAS DE JATO PLANO DE
FAIXA AMPLIADA EM FUNÇÃO DA TENSÃO SUPERFICIAL E DA
VISCOSIDADE DA CALDA**

Botucatu

2019

RAFAEL LUIZ PANINI

**VELOCIDADE DAS GOTAS GERADAS POR PONTAS DE JATO PLANO DE
FAIXA AMPLIADA EM FUNÇÃO DA TENSÃO SUPERFICIAL E DA
VISCOSIDADE DA CALDA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Dr. Ulisses Rocha Antuniassi.

Botucatu

2019

P192v Panini, Rafael Luiz
Velocidade das gotas geradas por pontas de jato plano de
faixa ampliada em função da tensão superficial e da viscosidade
da calda / Rafael Luiz Panini. -- Botucatu, 2019
51 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

1. Velocidade de gotas. 2. Tensão superficial. 3. Viscosidade.
I. Título.

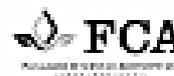
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

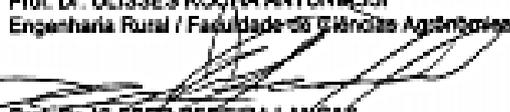
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VELOCIDADE DAS GOTAS GERADAS POR PONTAS DE JATO PLANO DE FAIXA AMPLIADA EM FUNÇÃO DA TENSÃO SUPERFICIAL E DA VISCOSIDADE DA CALDA

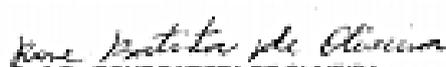
AUTOR: RAFAEL LUIZ PANINI

ORIENTADOR: ULISSES ROCHA ANTUNIASI

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


Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIASI
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias - UNESP


Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias - UNESP


Prof. Dr. ROME BATISTA DE OLIVEIRA
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Estadual do Norte do Paraná - Campus Luiz Meneguetti

Botucatu, 01 de fevereiro de 2019

Aos meus familiares e amigos,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida.

A minha família, Edivaldo, Claudete e Luiza.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida para a realização deste estudo.

Ao Prof. Dr. Ulisses, pela oportunidade de aprendizado como orientado, excelente exemplo como pessoa e profissional.

Ao Prof. Dr. Paulo, pela motivação e inspiração para a realização do mestrado.

Ao Prof. Dr. Caio pelos diálogos, apoio e contribuição neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rone por todo apoio ao desenvolvimento final deste trabalho.

A todos meus colegas de estudos nas disciplinas e principalmente a equipe de trabalho que pude conviver neste período: Alexandre, Alisson, Andréia, Ariane, Caio, Danielle, Dante, Fernando, Gustavo, Mateus, Marcela, Patrícia, Raquel, Rodolfo, Saulo, Sidnei, Vicente, Vinícius, Vitor, Talyson e Tomas. Entre outros que possa não ter mencionado neste texto.

Aos amigos de vivência em Botucatu: Maíra, Paula e Rafael T.

“Questions of Science,
science and progress.
Do not speak as loud
as my heart”.

Coldplay – The Scientist

“Se te fatigas correndo com homens que vão a pé, como poderás competir com os cavalos? ”

Jeremias 12:5

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi determinar a velocidade das gotas geradas por uma ponta de jato plano de faixa ampliada (XR11003) em função de variações na tensão superficial e da viscosidade de caldas compostas por diluições de um surfactante e um óleo vegetal. Os adjuvantes utilizados foram o surfactante Agral e o óleo vegetal Natur'óleo, além de uma calda padrão (testemunha) composta apenas por água. Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições. Para isso foram determinadas as viscosidades e tensão superficial para diferentes concentrações dos adjuvantes, bem como velocidade de gotas. As caldas pulverizadas foram amostradas em condições operacionais idênticas de pressão (2,8 bar), buscando a quantificação das velocidades de forma homogênea, em diferentes diâmetros de gota: 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350 μm . Os experimentos foram conduzidos para coleta na altura de pulverização de 30 cm em relação ao analisador de partículas em tempo real VisiSize Portable (Oxford Lasers Ltd / UK). Foram ajustados modelos para os dados de velocidade e tamanho de gotas, viscosidade e tensão superficial, assim como realizou-se a Análise de Variância para significância do modelo e o coeficiente de determinação múltipla. A análise de correlação foi empregada para verificar o efeito da viscosidade e tensão superficial sobre a velocidade de gotas. Os resultados mostraram que os modelos tridimensionais indicam a formação de gradiente ascendente da velocidade em função da viscosidade, ou seja, observou-se uma tendência de maiores velocidades para maiores valores de viscosidade. O inverso ocorreu para tensão superficial (gradiente descendente da velocidade em função da tensão superficial), ou seja, observou-se uma tendência de menores velocidades para maiores valores de tensão superficial. No entanto, não foram verificadas correlações significativas entre a tensão superficial ou viscosidade e as velocidades para cada tamanho de gota ($p > 0,05$). Conclui-se, portanto, que para a ponta de pulverização XR 11003 na pressão de 2,8 bar, a velocidade de gotas não se correlaciona significativamente com tensão superficial e viscosidade das caldas. O modelo de regressão quadrático explica a relação entre tamanho de gota (de 50 a 350 μm) e velocidade para as caldas com surfactante e óleo vegetal, com maiores velocidades para as gotas maiores em ambas as caldas.

Palavras-chave: Velocidade de gotas, Tensão superficial, Viscosidade.

ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the velocity of the droplets generated by a wide band plane jet (XR11003) as a function of variations in surface tension and viscosity of syrups composed of dilutions of a surfactant and vegetable oil. The adjuvants used were the Agral surfactant and the Natur'óleo vegetable oil, besides a standard syringe (control) composed only of water. The trials were conducted in a completely randomized design with 5 replicates. For this, the viscosities and surface tension were determined for different concentrations of the adjuvants, as well as droplet velocity. The pulverized samples were sampled under identical operating pressure conditions (2.8 bar), aiming at the quantification of the homogeneous velocities in different drop diameters: 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 μm . The experiments were conducted at the 30 cm spray height in relation to the VisiSize Portable (Oxford Lasers Ltd / UK) real-time particle analyzer. Models for the velocity and droplet size, viscosity and surface tension data were adjusted, as well as the Analysis of Variance for model significance and the multiple determination coefficient. Correlation analysis was used to verify the effect of viscosity and surface tension on the droplet velocity. The results showed that the three-dimensional models indicate the formation of an upward velocity gradient as a function of viscosity, that is, a trend of higher velocities was observed for higher viscosity values. The inverse occurred for surface tension (downward velocity gradient as a function of surface tension), that is, a trend of lower velocities was observed for higher values of surface tension. However, no significant correlations were observed between surface tension or viscosity and velocities for each droplet size ($p > 0.05$). It is concluded, therefore, that for the spray tip XR 11003 at a pressure of 2.8 bar, the droplet velocity does not correlate significantly with surface tension and viscosity of the slurries. The quadratic regression model explains the relationship between droplet size (from 50 to 350 μm) and velocity for the syrups with surfactant and vegetable oil, with higher velocities for the larger droplets in both syrups.

Keywords: Droplet velocity, Surface tension, Viscosity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Sustentabilidade e a pulverização agrícola.....	19
2.2	Pontas de pulverização e adjuvantes agrícolas.....	20
2.3	Propriedades físicas em calda de produtos fitossanitários.....	21
2.4	Análise de velocidade de gotas na pulverização.....	23
2.5	Viscosidade em caldas de produtos fitossanitários.....	25
2.6	Tensão superficial em caldas de produtos fitossanitários.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Ensaio e tratamentos.....	29
3.2	Análise de espectro de gotas e velocidade.....	29
3.3	Coleta de dados.....	30
3.4	Amostragem de viscosidade e tensão superficial.....	30
3.5	Produtos fitossanitários utilizados e concentrações.....	31
3.6	Pontas de pulverização.....	31
3.7	Delineamento.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Viscosidade dos fluidos.....	34
4.2	Tensão superficial.....	38
4.3	Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e das características das caldas.....	38
4.3.1	Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e da presença do surfactante.....	40
4.3.2	Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e da presença do óleo vegetal.....	42
4.4	Correlação dos resultados.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
6	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo o homem buscou aprimorar suas ferramentas para melhorar sua capacidade operacional. Com isto o uso de produtos químicos nas lavouras, pode ser comparado desde as técnicas mais primitivas aos equipamentos mais elaborados que permitem maior controle e eficácia dos produtos utilizados. No entanto para compreensão mais profunda dos problemas atuais se faz necessário o entendimento de parte da mecânica, química e física das misturas realizadas em tanques de pulverização agrícola. Sobre todos estes fatores ainda verificar e adequar as pontas de pulverização de maneira estratégica para um controle eficiente. E por fim monitorar as condições ambientais para propiciar o trabalho com maior rendimento no momento adequado de aplicação, isto são boas práticas agrícolas.

Dentre as técnicas utilizadas para melhorar a eficiência das aplicações de defensivos agrícolas, o uso de adjuvantes se destaca por aumentar a qualidade em diferentes fatores da tecnologia de aplicação. Os principais efeitos dos adjuvantes são redução na tensão superficial, modificantes de viscosidade, redutores de deriva, incrementadores de deposição, agentes condicionantes de calda de pulverização, entre outros (McMULLAN, 2000). Dessa forma, as alterações físico-químicas provocadas por adjuvantes nas caldas de pulverização podem afetar parâmetro ligados ao espectro de gota como diâmetro mediano volumétrico (DMV), percentual de gotas menores do que 100 μm e Amplitude Relativa (BERNA, 2017; QUEIROZ, 2018).

Além desses parâmetros, a velocidade de gotas é muito importante no processo de aplicação de defensivos agrícolas. Butler Ellis et al. (1997) indica que a velocidade das gotas de pulverização pode ser influenciada pelas propriedades físicas do líquido de pulverização. Velocidades menores de gotas de pulverização podem torná-las mais susceptíveis à deriva devido ao maior tempo decorrido para atingir o alvo.

O uso de surfactantes aumenta o tamanho de gotas (Chechetto e Antuniassi, 2012). Sabe-se que gotas de maiores tamanhos assumem maior velocidade (NUYTTENS et al., 2009). No entanto, pouco se conhece sobre a relação direta da interferência da alteração da tensão superficial e viscosidade sobre a velocidade das gotas no processo de pulverização. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar a velocidade das gotas geradas por uma ponta de jato plano

de faixa ampliada (XR11003) em função de variações na tensão superficial e da viscosidade de caldas compostas por surfactante ou óleo vegetal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sustentabilidade e a pulverização agrícola

Segundo Minguela e Cunha (2010), o homem fez-se agricultor para garantir a produção regular de alimentos e, sem dúvida, os primeiros agricultores já conheceram, sofreram e lutaram contra as adversidades naturais de seus cultivos, de forma que se estabeleceu uma inevitável batalha que chegou até os dias atuais.

O questionamento do modelo de produção agrícola, adotado nas mais diversas regiões mundiais produtoras de alimentos, não é novo e há algumas décadas se questiona o mesmo. Nos últimos 20-30 anos a discussão em torno de um sistema de produção para a agricultura, em que a visão sistêmica seja privilegiada vem aumentando, e algumas experiências de sucesso tem sido alcançadas com sustentabilidade para o setor, detalhando assuntos pertinentes ao uso de adjuvantes MINGUELA e CUNHA (2010).

O controle eficiente e o manejo focado em boas práticas em uma lavoura, são conceitos fundamentais na pulverização. Os defensivos agrícolas precisam ser utilizados de forma responsável, atendendo parâmetros técnicos e premissas pré-estabelecidas para a correta aplicação, sendo parte complementar do manejo integrado (CARVALHO, 2016).

O crescimento da população mundial resulta na necessidade de um aumento de produtividade agrícola. Um dos fatores que auxiliam esse aumento da produtividade é a utilização de agrotóxicos que controlam pragas, doenças e plantas daninhas. Porém, junto com o aumento da utilização destes defensivos agrícolas há uma crescente cobrança da sociedade para a produção de alimentos mais saudáveis e por uma menor contaminação do ambiente (CHECHETTO, 2011). Buscar novas formas de análise de dados na agricultura pode ser uma forma de encontrar novas possibilidades, desta maneira a tecnologia de aplicação e a engenharia se fazem presentes.

A pulverização é o processo de divisão do líquido aplicado (calda) em gotas de diferentes tamanhos, que transportam o ingrediente ativo até o alvo. Dentro desse processo entende-se que, quanto menor o tamanho das gotas que forem produzidas pelo jato, maior será o número de gotas que atingirão a superfície desejada na aplicação (ANTUNIASSI et al., 2017).

2.2 Pontas de pulverização e adjuvantes agrícolas

As pontas de pulverização são responsáveis por transformar a calda em um único jato, e que pressurizado sai por um orifício formando uma fina camada que fragmenta-se em gotas finas ou grossas, de acordo com o tamanho de seu orifício. Porém, em algumas operações de pulverização deve-se utilizar pontas específicas para cada tipo de defensivo agrícola, a fim de se obter uma aplicação com homogeneidade e distribuição uniforme de gotas contribuindo com melhor cobertura do alvo (MATTHEWS et al., 2014; SANTOS, 2017).

Pontas de pulverização produzem diferentes diâmetros de gotas e a velocidade destas depende de seu diâmetro. Gotas com o diâmetro de 70 μm possuem velocidade em torno de 16 a 18 m.s^{-1} dependendo do tipo da ponta, tamanhos menores de gotas tendem a diminuir sua velocidade por volta de 10 a 12 m.s^{-1} . (NUYTTENS et al., 2009). A utilização de produtos adjuvantes pode alterar as características de pulverização, como capacidade de molhamento e tensão superficial influenciam os defensivos, constatações feitas auxiliaram na tomada de decisão para as análises posteriores (ARAÚJO e RAETANO, 2011).

A legislação brasileira, Artigo 1º do Decreto nº 4.704, de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, define adjuvante como o “produto utilizado em mistura com produtos formulados para melhorar a sua aplicação” e aditivo como “substância ou produto adicionado aos defensivos agrícolas, componentes e afins, para melhorar sua ação, função durabilidade, estabilidade e detecção, ou para facilitar o processo de produção”.

Diversos autores como Antuniassi et. al. (2016); e Raetano (2011) definem de maneira similar os adjuvantes, como: qualquer substância adicionada a uma formulação ou a calda, que estimule a eficiência do produto fitossanitário, mas que não possui efeito biológico próprio, porém esta classificação é mais comum na literatura especializada do que quando comparada com a utilizada na legislação brasileira.

A adição de produtos adjuvantes pode alterar as propriedades do líquido pulverizado, tanto no processo de formação de gotas como no comportamento destas em contato com o alvo, alterando o risco potencial de deriva da aplicação (CHRISTOFOLETTI, 2002). Além disso, a utilização de adjuvantes

permite a aplicação conjunta de fertilizantes e defensivo, retirar a espuma em mistura em tanque, facilitar a deposição da gota no alvo, reduzir a deriva na aplicação, reduzir íons da calda, alterar o pH entre outros (McMULLAN, 2000).

Os adjuvantes utilizados na aplicação atuam nas propriedades da calda ou na mistura de tanque, facilitando o processo de aplicação. Dentre alguns adjuvantes pode-se citar os agentes, antiespumantes, que reduzem ou eliminam a espuma das caldas, reduzindo a tensão superficial da calda onde a formação da espuma ocorre; Redutores de deriva que atuam reduzindo a viscosidade da calda permitindo a geração de gotas mais grossas; E agentes que auxiliam a deposição da calda na superfície do alvo, melhorando a eficácia da deposição do defensivo e redução nas taxas de aplicação (McMULLAN, 2000).

França et al, (2017), explicam em seu trabalho que a adição de óleo mineral na calda aumentou a velocidade das gotas em 10,8% com relação à calda contendo somente surfactante, quando utilizadas as pontas de indução de ar (GA 11003) e sem indução (VP 11003) na pressão de trabalho 300 kPa. Dessa forma, estudar o óleo vegetal nas aplicações pode complementar a redução de deriva, já que quanto maior a velocidade da gota, menor é o tempo que a gota tem que percorrer o trajeto da ponta até o alvo, reduzindo as chances da gota sofrer deriva.

2.3 Propriedades físicas em calda de produtos fitossanitários

No que se refere às propriedades físicas da calda entende-se que o líquido aplicado é um fluido, que é uma substância que se deforma por meio da tensão de cisalhamento que ocorre na ponta. Essa tensão é causada pela ação da força que ocorre paralelamente à superfície, no caso, a força do fluido em movimento na parede da ponta, denominando-se velocidade de escoamento (BISTAVA, 2016).

Fox e McDonald (2014), explicam que, quando se trata de fluidos em movimento, há um conjunto de forças capazes de alterar o escoamento, dependendo da viscosidade do fluido há interferência nesse processo. Quanto maior a viscosidade de um fluido maiores serão as forças de cisalhamento, como exemplo, a água e o óleo, ambos apresentam viscosidades diferentes, porém o óleo sofrerá mais forças do que a água.

Após o fluido percorrer a ponta, formar o jato, e conseqüentemente as gotas, deve-se entender que estas, dependendo da calda

aplicada, terão maior ou menor tensão superficial. A tensão superficial é a força aparente agindo em um líquido, ou seja, uma gota possui um filme líquido com superfície interna e uma superfície externa, resultando em uma força atrativa entre outras moléculas (FOX e McDONALD, 2014).

O uso de adjuvantes na agricultura é um tema que desperta interesse pelos benefícios obtidos com sua adição aos produtos fitossanitários inclusive por auxiliar no processo de pulverização e nas propriedades da calda, no entanto, gera dúvidas e controvérsias, pelo uso inadequado, legislação aplicável, ou até mesmo pela falta de conhecimento da interação entre adjuvantes e ingredientes ativos (ARAÚJO e RAETANO, 2011). Entender a interação entre os elementos mostra-se como base fundamental para o desenvolvimento de novas práticas, tecnologias e ferramentas.

Entender como os adjuvantes funcionam juntos significa que eles podem ser projetados para diminuir os riscos de danos à saúde, ambientais e à propriedade causados pela deriva (WALLHEIMER & CORVALAN, 2012). Estudos como este fomentam a necessidade da exploração do conteúdo voltado aos estudos comparativos de comportamento de fluidos em pulverizações agrícolas

De acordo com Wallheimer & Corvalan (2012), o espectro de gotas é constituído por gotas de diferentes tamanhos, e as gotas mais finas, principalmente as menores do que 100 μm são mais suscetíveis à deriva. Sabendo como os adjuvantes influenciam na formação de gotas menores, é possível alterar sua formação. E dessa forma, é possível entender que há relação na diluição dos líquidos nas caldas de pulverização com os problemas de deriva.

Sob este aspecto, dentre as verificações deste estudo destaca-se a velocidade de gotas, a viscosidade e a tensão superficial para checagem de possível correlação. França et al. (2018), explicam que a velocidade de gotas pode estar associada a outros fatores. Suas análises reforçam que gotículas de menor massa apresentam velocidade reduzida, em função da resistência ao vento no caminho entre a liberação e o alvo. Afirmando que a velocidade de partículas está relacionada com o tamanho da gota, bem como com a energia cinética do lançamento e a sua densidade.

Ainda sob as afirmações de França et al. (2018), uma análise diferente pode ser feita considerando a velocidade para cada classe de tamanho de gotícula para cada ponta, o que permitir uma compreensão da diferença entre eles em

cada classe de tamanho de gotícula. Este relato fomenta ainda mais as observações adotadas para a elaboração dos conjuntos de dados amostrados.

2.4 Análise de velocidade de gotas na pulverização

Segundo Brunneti (2008), as partículas do fluido podem apresentar aceleração mesmo quando a velocidade é constante em cada ponto como tempo, pois pode-se ter variações de ponto a ponto. Butler Ellis et al. (1997) indica que a velocidade das gotas de pulverização pode ser influenciada pelas propriedades físicas do líquido de pulverização. Dessa forma, o uso de produtos que alteram essas propriedades físicas como os adjuvantes podem afetar a velocidade.

Aprofundando o estudo sobre pontas e adjuvantes França et al. (2017), indica que há na literatura trabalhos que abordam o uso de diferentes pontas de pulverização, espectro de gotas e cobertura nas aplicações. Mas há poucos estudos disponíveis que abordam velocidade de gotas, potencial de deriva de gotículas pulverizadas e correlação entre os temas. Neste estudo utilizando a adição de óleo mineral (1,5%).

França et al. (2017), afirmam que o resultado foi de aumento na velocidade de gotas, redução do desvio padrão e a formação de espectro de gotas mais homogêneo. As pontas de indução de ar promoveram gotículas maiores e menos homogêneas, mas pouco afetaram a velocidade das gotas.

O estudo de Foissac et al. (2011), explica que o fato de gotículas pequenas não terem a mesma velocidade que as gotas maiores, é atribuído a força de arrasto. Conhecer a velocidade real de cada gotícula nos diferentes tamanhos, pode ser útil para entrada de dados em simulações numéricas.

Outros autores realizaram trabalhos com a manipulação de propriedades físicas de caldas e variações de espectro de gotas. Chechetto (2011) ao avaliar o potencial de deriva com as pontas DG 8003 VS e AI 8003 na pressão de 4 bar e com diferentes tipos de adjuvantes, obteve com o adjuvante In- Tec o maior valor de DMV para a ponta de indução de ar (AI 8003), reduzindo significativamente a deriva. Dessa forma, estudos como este colaboraram para um maior entendimento das misturas que ocorrem na agricultura atual.

Comparando pontas com e sem indução de ar França et al. (2018) encontrou pouca variação entre os bicos com e sem indução de ar GA e VP da

fabricante Hypro com a mesma pressão e vazão, porém com o aumento da pressão e da vazão foi possível produzir gotículas com velocidades mais altas. Faggion (2008) afirma que a velocidade das gotículas é menor para o pontas com indução de ar, que os convencionais.

Dorr et al. (2013), demonstra que a velocidade das gotas é menor para pontas com indução de ar quando comparadas com as convencionais. Estes fatos abordados excluem a possibilidade da utilização de pontas com indução de ar para verificações de gradientes e comportamentos de partículas.

Pontas com indução de ar produzem gotículas com maior velocidade para a mesma vazão nominal e pressão França et al. (2017), embora produzam gotas mais lentas para o mesmo tamanho, o que demonstra que o efeito de tamanho se sobrepõe ao efeito de velocidade de ejeção de gotas (NUYTTENS et al., 2009). Da mesma forma, verifica-se que a ponta XR deve ter desempenho superior e com maior uniformidade entre as partículas pulverizadas.

Foissac et al. (2011), demonstram em seu estudo que a velocidade média axial aumenta com o diâmetro de gotas pulverizadas, utilizando pontas cônicas. Portanto diferentes combinações, devem gerar diferentes possibilidades de velocidade de gotas pulverizadas. O importante é entender a lógica para aplicar na realidade da agricultura brasileira.

Observando os estudos de Jones et al. (2012), que examinou a capacidade de representação de distribuição de tamanho de gotas, baseado em dois parâmetros: um livre e outro com a sobreposição de gotículas de mesma velocidade. Este trabalho aponta para os desafios na obtenção de métodos adequados para quantificação/representação precisa da distribuição local de gotas baseado em estudos de momentos e ressalta que a aproximação/estimativa de velocidade de gotas pulverizadas não é trivial.

Segundo Oliveira e Lopes (2012), são muito raras as configurações de escoamento para as quais foram, até agora, obtidas soluções analíticas exatas, ou seja, em que as variáveis dependentes são diretamente explicitadas em função das variáveis independentes, sem que para tal tenha sido necessário o recurso a hipóteses simplificadas que tornem comparativamente desprezáveis alguns termos das equações de partida. Atualmente a avaliação de tamanho de gotículas pode ser de maneira instantânea, através de equipamentos baseados nas técnicas de difração a laser, por exemplo (FRANÇA et al., 2017)

2.5 Viscosidade em caldas de produtos fitossanitários

Segundo Vieira (1971), todos os fluidos reais apresentam a particularidade de oferecer resistência a sua mudança de forma, o que resulta da sua propriedade conhecida por viscosidade. Brunetti (2008), explica que a origem da viscosidade nos fluidos mereceria uma análise microscópica, podendo se dizer de uma maneira simplificada que a viscosidade dos fluidos é originada por uma coesão entre as moléculas e pelos choques entre elas.

Para Vieira (1971), a viscosidade pode ser tida, do ponto de vista molecular, como um processo de transferência de impulso entre camadas vizinhas de fluido animadas de velocidades diferentes, transferência essa causada pela agitação das moléculas. E não é uma propriedade observável num fluido em repouso, pois qualquer que seja a força tangencial, ele se deforma (BRUNETTI, 2008).

Alterar as propriedades dos fluidos para beneficiar-se da estratégia de controle adequado, visa melhorar a cobertura, minimizar os efeitos das condições climáticas e reduzir o potencial de deriva.

Segundo estudo de adjuvantes adicionados a produtos fitossanitários Wallheimer & Corvalan (2012), afirmam que quando os aditivos estão presentes, o surfactante por exemplo, empurra mais líquido em direção ao filamento. A viscosidade reduzida permite que o líquido flua mais facilmente nessa direção, resultando em uma formação de gota de satélite bem definida no filamento.

França et al. (2017), verificou que a viscosidade da calda após a adição de óleo mineral foi aumentada em 14,68%, indicando que também pode influenciar o espectro de gotas. Mesmo não encontrando alterações significativas na tensão superficial.

Cunha et. al. (2004) relata que a velocidade terminal e a distância horizontal teórica percorrida por gotas de diâmetro conhecido permitem avaliar o risco de deriva da aplicação em função do tamanho das gotas. Com o aumento do tamanho de gotas e a diminuição da altura da ponta de pulverização em relação ao alvo, é possível reduzir o risco de deriva com pontas de jato plano e jato cônico. Esta constatação, aponta para a necessidade de estudos de velocidade de gotas, observando a uma proximidade maior entre a fragmentação e o ponto de amostragem.

2.6 Tensão superficial em caldas de produtos fitossanitários

A tensão superficial afeta a formação da pulverização, transporte e evaporação. O aumento da tensão superficial tende a causar um aumento no tamanho das gotas devido à resistência de tensão superficial na atomização. Os líquidos têm tendência a assumir um estado de baixa energia, que acontece quando sua área superficial é minimizada. Como por exemplo, a gota assume a forma de esfera. Para aumentar a área superficial, é necessário aplicar energia; assim, a quantidade de energia necessária para aumentar a área superficial de um líquido é conhecida como tensão superficial (ARAÚJO e RAETANO, 2011).

A adição de adjuvante tende a reduzir os valores de tensão superficial, Carvalho (2016), em seu estudo com fungicidas compara duas formulações com e sem adjuvantes, e apresenta os seguintes valores: fungicidas SC com adjuvante 36,94 mN/m, sem adjuvante 44,42 mN/m; fungicidas WG com adjuvante 38,14 mN/m, sem adjuvante 49,4 mN/m. Além disso, evidencia que o acréscimo do adjuvante reduziu em 22% a tensão superficial, 19% a amplitude relativa e 62% o número de gotas menores que 100 μm . Houve ainda um aumento de 1% na esfericidade, 5% na viscosidade (CARVALHO, 2016).

Butler Ellis (2001) demonstra que o grau de redução depende do tipo de ponta de pulverização com maior sensibilidade à tensão superficial com o uso de ponta de pré-orifício (conhecidas pela redução de deriva em aplicações). Mas não indicada para este estudo, haja vista as constatações anteriores sobre a oscilação de velocidade de partículas com pontas de indução de ar.

A tensão superficial é um dos aspectos avaliados neste trabalho. Quando os líquidos são pulverizados, eles começam em um fluxo e formam gotas. Conforme os líquidos se movimentam no ar, estas gotas são conectadas por uma espécie de filamento fino começam a se separar. Esse filamento eventualmente se destaca e se torna parte das gotas que estavam se formando em ambos os lados dele, como na figura 01 (WALLHEIMER e CORVALAN, 2012).

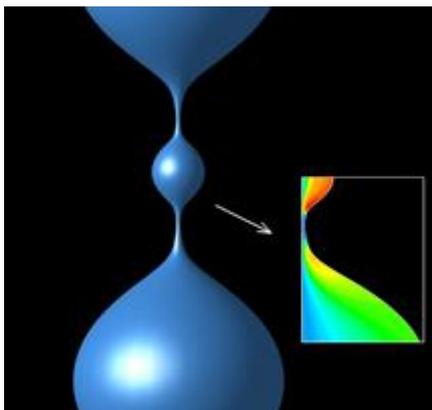


Figura 01. Demonstração de filamento entre gotas pulverizadas (WALLHEIMER e CORVALAN, 2012).

Essas gotículas satélite se formam no meio de filamentos de produtos fitossanitários, contendo surfactantes e ou aditivos poliméricos, que auxiliam os produtos a aprimorar a cobertura e adesão na superfície das plantas. Os surfactantes reduzem a tensão superficial e forçam as gotas redondas a ficarem planas, ajudando-as a cobrir mais área de superfície das folhas de uma planta pulverizada. Os aditivos poliméricos reduzem a viscosidade, a resistência a líquidos e facilitam o fluxo de líquido pulverizado. Os aditivos poliméricos também impedem que as gotas saltem das superfícies das plantas (WALLHEIMER e CORVALAN, 2012).

De acordo com França et al. (2017), demonstrando o trabalho de outros autores, “A adição de adjuvantes à solução de pulverização também tem sido uma alternativa adotada na maioria das aplicações de defensivos agrícolas, pois promove alterações físico-químicas na pulverização, reduzindo conseqüentemente a deriva (GANDOLFO et al., 2013; HILZ & VERMEER, 2013). Entre os vários tipos de adjuvantes disponíveis no mercado, destaca-se o uso difundido de óleos minerais, pois atua reduzindo a tensão superficial e aumentando a “molhabilidade”, a dispersão e absorção dos produtos (BAYER et al., 2011). Faz assim necessário um maior entendimento sob estes comportamentos para o óleo vegetal.

A figura 02 ilustra uma a trajetória de distribuição da gota em uma superfície foliar com e sem adjuvante, para demonstrar a influência da redução da tensão superficial no líquido.

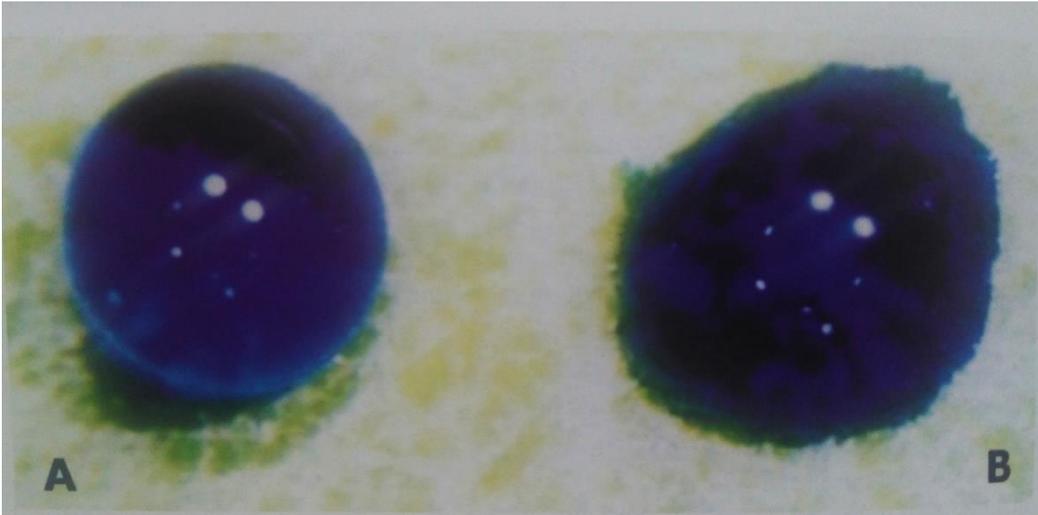


Figura 02. Espalhamento de uma gota com e sem adjuvante (ARAÚJO e RAETANO, 2011).

Para Fox et. al. (1934), todos nós estamos familiarizados com os fluidos – sendo os mais comuns a água e o ar – e os tratamos como “lisos e suaves”, isto é, como um meio contínuo, não podemos estar seguros da natureza molecular dos fluidos, a menos que utilizemos equipamentos especializados para identifica-la.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ensaaios e tratamentos

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu – SP, no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA).

3.2 Análise de espectro de gotas e velocidade

Utilizou-se o sistema de análise de partículas Oxford P-15 (Oxford lasers, UK). O sistema analisa o espectro de gotículas utilizando uma técnica denominada “Análise de Partículas/Gotículas por imagem” (PDIA), também utilizada por diversos autores (CARVALHO 2016; MOREIRA 2016, CARVALHO et al., 2017 e FRANÇA et al. 2017). Este sistema determina, além de medir a distribuição do diâmetro das partículas, fornece também a velocidade das partículas em tempo real. O sistema foi programado para contar dez mil gotas em cada repetição.

O analisador de partículas é dotado de uma câmera que captura as imagens das partículas pulverizadas em trajetória no ar. Essas imagens são coletadas em tempo real e por meio de um computador são analisados os dados através do software VisiSize 6.0, estimando o tamanho das partículas e sua velocidade (Figuras 3 e 4).

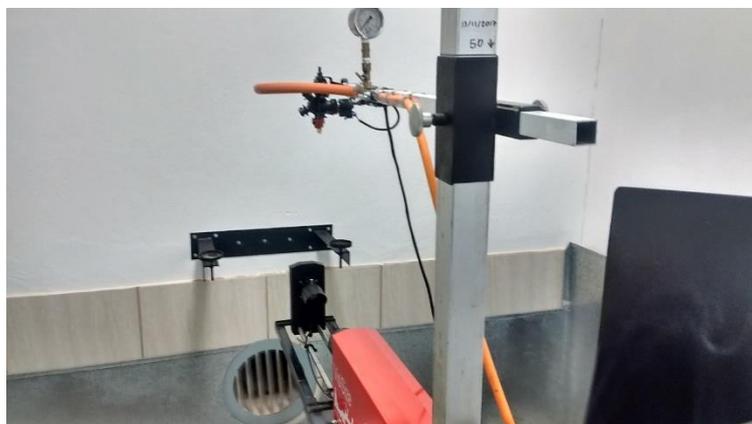


Figura 03. Sistema Oxford P-15 montado no Laboratório de Máquinas para Pulverização do NEMPA (FCA/UNESP - Botucatu/SP).

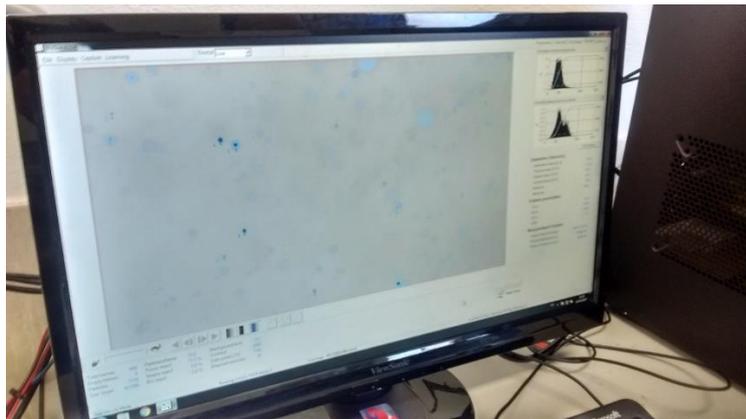


Figura 04. Computador que registra os dados coletados pelo Oxford P-15 com a tela do software VisiSize 6.0.

3.3 Coleta de dados

A recomendação de uso adequado para o sistema é que a amostragem somente tenha início após o início da pulverização e estabilização de pressão, quando o equipamento de análise de partículas deverá ser acionado para a captura das imagens. A aquisição das imagens termina automaticamente assim que o equipamento completar a leitura de 10.000 partículas, o que representa uma repetição. Os dados coletados foram estratificados quanto ao diâmetro mediano volumétrico (DMV), da faixa de 50 a 350 μm , com classes de 50 em 50 μm . As gotas foram amostradas na altura de aplicação de 30 cm, estando o campo focal do equipamento centralizado em baixo da ponta de pulverização. Durante as coletas do espectro de gotas foram obtidos os valores de velocidade (m/s).

3.4 Amostragem de viscosidade e tensão superficial

Para amostragem e análise de viscosidade e tensão superficial foram realizados os procedimentos laboratoriais de diluição dos adjuvantes, tendo a água como o padrão.

A viscosidade foi obtida através de um aparelho denominado viscosímetro rotacional, da marca Brookfield (modelo LVDV-II, figura 05). Metodologia descrita por Carvalho (2016), Fritz et al. (2010) e Oliveira et al. (2015). Este equipamento determina a viscosidade com base no torque necessário para rotacionar um cilindro (spindle), submerso em 15mL de calda de pulverização utilizada.

A tensão superficial (TS) foi determinada através do método gravimétrico, descrito por Carvalho (2016), que cita alguns trabalhos com a mesma metodologia Corrêa (1997), Velini (2002) e Oliveira et al. (2015). A estimativa de tensão será através da referência do peso de gotas de água, que tem valores conhecido. O valor de cada calda de pulverização foi calculado através desta relação. Para cada repetição foram computados os valores de peso de 10 gotas de cada calda, em 5 repetições por concentração.

A fórmula utilizada para determinar a tensão superficial das caldas está descrita na Equação 1.

$$TS_c = \frac{m_c \cdot TS_{\text{água}}}{m_{\text{água}}}$$

(1)

Onde:

TS_c = tensão superficial da calda avaliada (mN/m);

m_c = massa média de dez gotas da calda (g);

$TS_{\text{água}}$ = tensão superficial da água (72,6 mN/m);

$m_{\text{água}}$ = massa média de dez gotas de água (g).

3.5 Adjuvantes utilizados e concentrações

A água foi utilizada como referência em comparação com as demais concentrações. Os produtos adjuvantes selecionados foram o Agral, classificado como espalhante adesivo do grupo químico Alquil Fenóis Etoxilado, com formulação em concentração solúvel. Foram analisadas as seguintes concentrações para este produto: 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 sendo todas expressas em % diluído em água. O segundo adjuvante utilizado foi o Natur'óleo, classificado como inseticida de ação de contato e espalhante adesivo do grupo químico dos ésteres de ácidos graxos. As concentrações selecionadas para análise deste produto foram: 0,5; 5, 10, 15 e 17 % de concentração (diluição em água).

3.6 Ponta de pulverização

As pulverizações realizadas para a coleta de dados de espectro e velocidade das gotas foram realizadas com uma pontas de jato plano de faixa ampliada modelo XR 11003, da Teejet, na pressão de 2,8 bar.

3.7 Delineamento

As caldas posicionadas como tratamentos forma obtidas de diluições dos adjuvantes (Agral e Natur'oleo) em água, tendo a água como controle/padrão. As tabelas 01 e 02 apresentam as caldas utilizadas para expressão gradiente de viscosidade e tensão superficial nas diferentes concentrações.

Tabela 01. Relação das concentrações comparadas para surfactante.

Concentrações	Doses (%)
Água (padrão)	0
	0,0125
Caldas com Surfactante	0,025
	0,05
	0,1
	0,2
	0,5

Tabela 02. Relação das concentrações comparadas com óleo vegetal.

Concentrações	Doses (%)
Água (padrão)	0
	0,5
Caldas com Óleo Vegetal	5
	10
	15
	17

Para cada concentração, a coleta de dados foi baseada nos seguintes parâmetros: tensão superficial, viscosidade, diâmetro mediano volumétrico (DMV) e velocidade das gotas. Portanto, para cada tratamento foi realizada a amostragem de espectro de gotas e velocidade na altura de 30cm da ponta de pulverização, pareando os dados com as concentrações e as respectivas viscosidade e tensão superficial. A velocidade das partículas e o DMV foram estratificados em 7 níveis, de 50 a 350 μm , a cada 50 μm .

Os dados de viscosidade e tensão superficial passaram por uma análise de gradiente para construção das curvas características. Para os dados de velocidade de gotas, foi elaborada uma análise estatística para verificação da existência ou não, de diferença significativas entre os tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os comportamentos dos adjuvantes foram avaliados pelas dosagens que demonstraram valores expressivos para criação de um modelo gradiente de tensão superficial e viscosidade. Com estas determinadas concentrações foram realizados os procedimentos para coleta dos valores de velocidade de partículas em relação a sua classe de tamanho de gota. A análise de variância (ANOVA) para os modelos foi realizada e a importância do modelo foi examinada pelo teste estatístico de Fisher (teste F) por meio do teste de diferenças significativas entre as fontes de variação nos resultados experimentais, ou seja, a significância da regressão (SOR), a falta de ajuste e o coeficiente de determinação múltipla.

4.1 Viscosidade dos fluidos

A viscosidade é uma variável de elevada importância a ser avaliada, uma vez que se correlaciona com o tamanho de gotas (HEWITT et al., 1993). A amostragem de viscosidade foi realizada através do viscosímetro rotacional. As tabelas 03 e 04 apresentam os valores obtidos durante a amostragem. Através da figura 5 é possível visualizar os resultados obtidos.

Tabela 03. Valor de viscosidade nas concentrações com surfactante.

Concentrações (%)	Viscosidade (mPa s)
0	1,014
0,0125	1,036
0,025	1,196
0,05	1,046
0,1	1,068
0,2	1,206
0,5	1,246

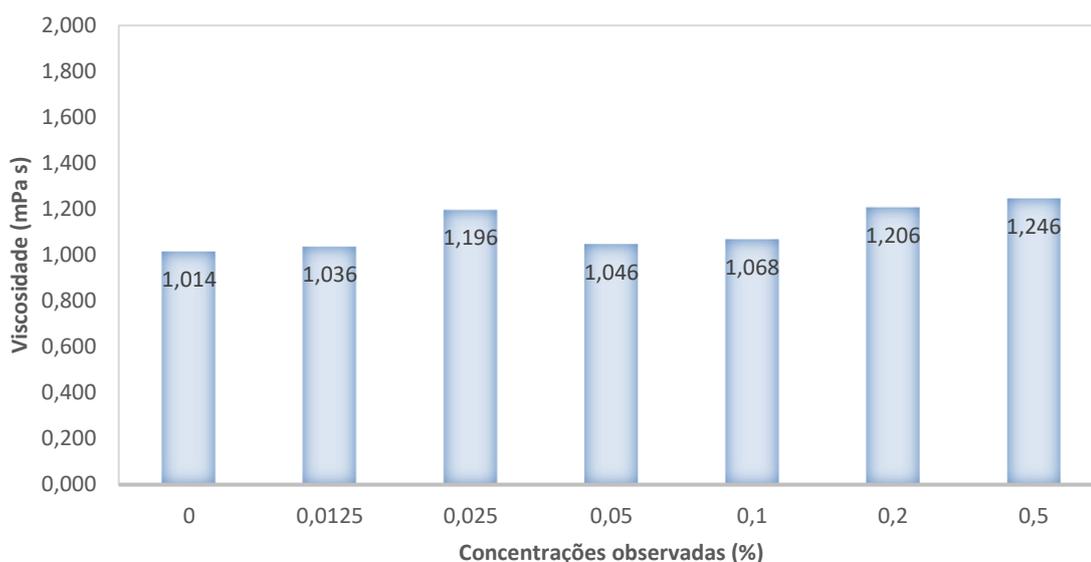


Figura 05. Viscosidade obtida para as concentrações com o uso de surfactante em diferentes proporções.

Observa-se que o incremento no valor da viscosidade apresenta semelhanças com o aumento de surfactante na calda. Nota-se que existe gradiente positivo entre as caldas em comparação com o valor da água, como na figura 08. Dessa forma, espera-se que valores de viscosidade maiores gerem espectro de gotas com maiores DMV (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

Tabela 04. Valor de viscosidade nas concentrações com óleo vegetal.

Concentrações	Viscosidade (mPa s)
0	1,014
0,5	1,104
5	1,616
10	1,840
15	2,406
17	2,424

Observando as concentrações foi possível determinar que houve aumento da viscosidade em comparação com a água, para as caldas utilizando óleo vegetal. A figura 6 suporta este entendimento.

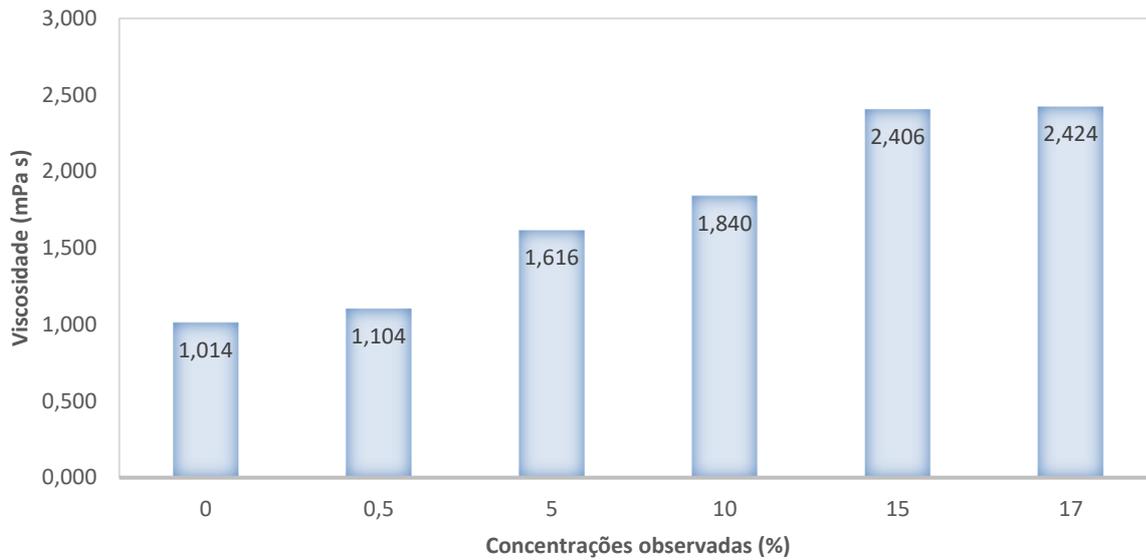


Figura 06. Viscosidade para as caldas com concentrações de óleo vegetal.

Estes valores de viscosidade observados apresentam aumento em função do incremento de dosagem, tanto para o surfactante como para o óleo vegetal. Isto quer dizer que a medida em que se aumenta a proporção de adjuvante existe aumento nos valores de viscosidade que acompanham até os limites onde não existe mais incremento de viscosidade através da incorporação na calda pulverizada.

4.2 Tensão superficial

A amostragem de tensão superficial, está representada nas tabelas 05 e 06 onde é possível observar-se os valores atribuídos a cada concentração. As figuras 07 e 08 apresentam os valores de cada calda pulverizada.

Tabela 5. Valores de tensão superficial nas caldas pulverizadas com surfactante.

Concentrações (%)	T.S. (mN/m)
0	72,60
0,0125	48,62
0,025	34,17
0,05	32,40
0,1	35,10
0,2	34,01
0,5	35,61

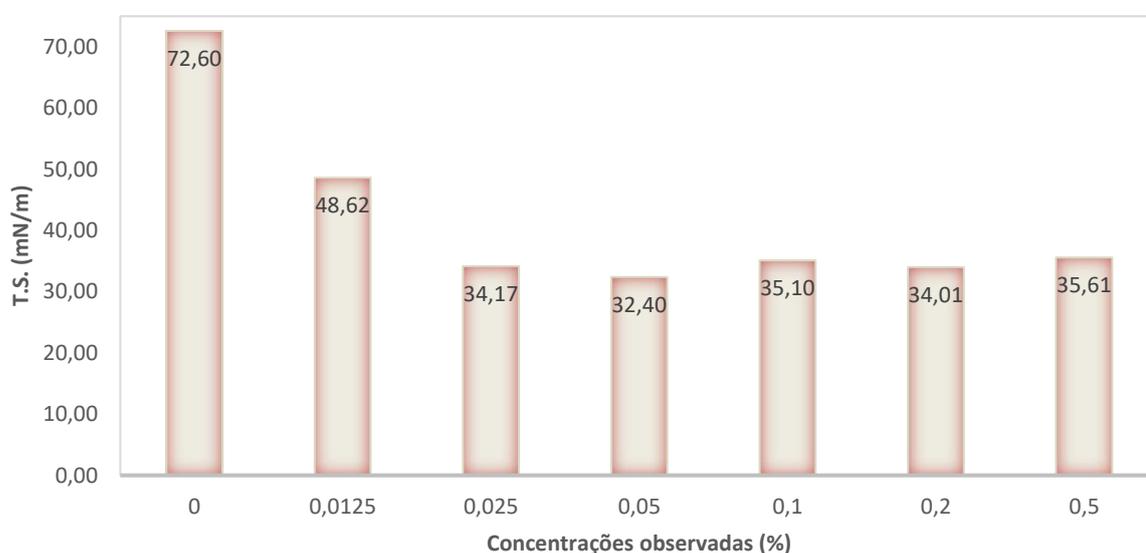


Gráfico 07. Tensão superficial nas caldas pulverizadas com surfactante.

Diferente da viscosidade para a tensão superficial houve declínio dos valores observado em função da maior concentração, assim quanto maior a concentração em calda pulverizada, menor o valor de tensão superficial.

Tabela 6. Valores de tensão superficial nas caldas pulverizadas com óleo vegetal.

Concentrações (%)	T.S. (mN/m)
0	72,60
0,5	43,46
5	43,45
10	41,86
15	30,00
17	29,37

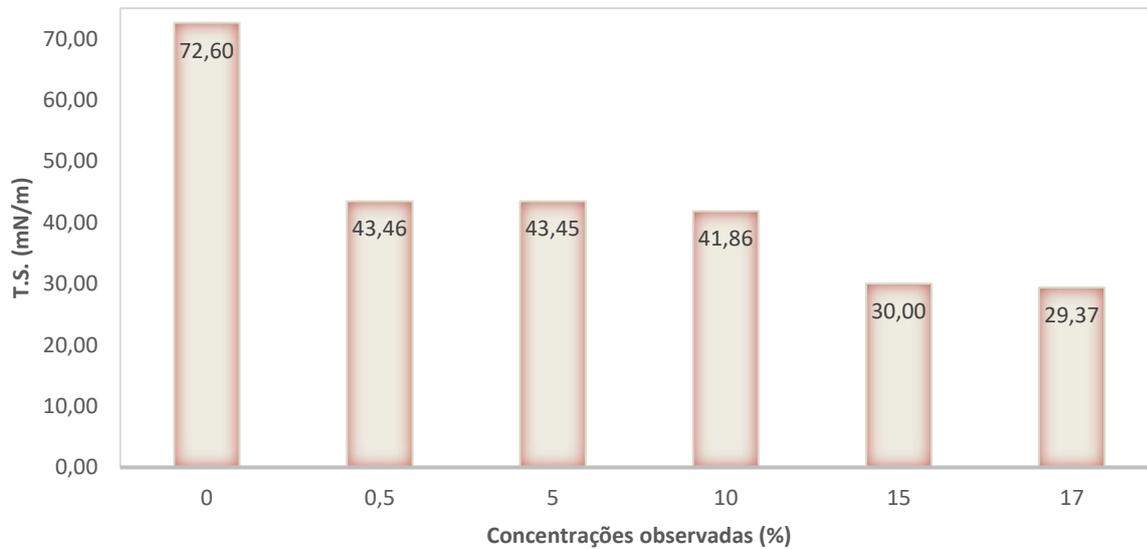


Figura 8. Tensão superficial nas caldas pulverizadas com óleo vegetal.

O comportamento da tensão superficial apresenta redução de valores a medida em que ocorre o aumento de dosagem na calda. Pode se dizer que o aumento da proporção na mistura modifica as propriedades físicas da água, diminuindo os valores de tensão superficial, em comparação com a água. Este efeito ocorre pela presença de tensoativos nas caldas de ambos os adjuvantes.

4.3 Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e das características das caldas

Através da modelagem dos resultados obtidos com a velocidade das gotas pulverizadas, foram então estabelecidas as figuras que representam os comportamentos em função das variações de viscosidade. Observou-se que a viscosidade apresenta gradiente com padrão para valores crescentes, na figura 09 na parte superior direita do plano é possível identificar este comportamento. O aumento da viscosidade influenciou sobre o tamanho de gotas. Quanto maior a viscosidade de um fluido, maiores serão as forças de cisalhamento, e maior a energia cinética da gota ao ser pulverizada (McDonald, 2014). Oliveira e Antuniassi (2012) constaram que maiores valores de viscosidade geram menores índices de deriva. Esse fato pode estar associado ao resultado encontrado neste estudo, em que a velocidade das gotas foi maior em valores maiores de viscosidade, tornando menor o tempo de

deslocamento da gota a partir da ponta até o alvo e, portanto, deixando-a menos susceptível a deriva. Verificou-se também que gotas maiores possuem maior velocidade, assim como observado por (NUYTTENS et al., 2009).

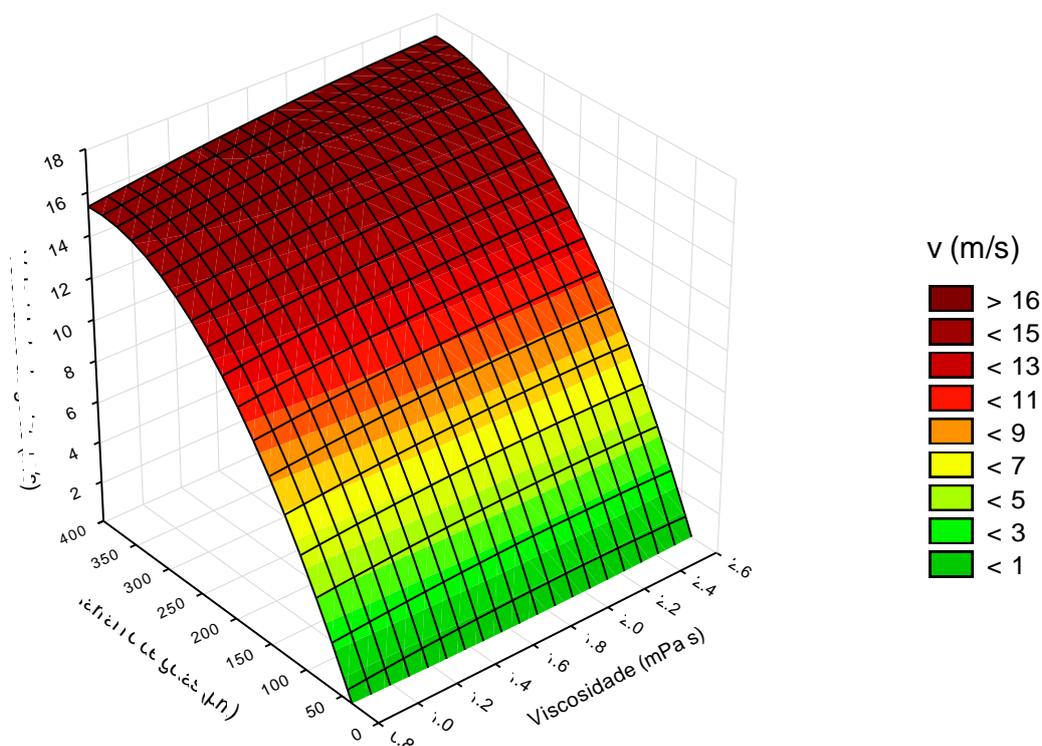


Figura 09. Efeito do tamanho de gotas e viscosidade na velocidade de gotas de pulverização.

No modelo apresentado na Figura 09 os planos representam as variáveis analisadas, enquanto que a velocidade apresenta os valores com as denominações de cores do gradiente.

Para a tensão superficial, foi possível verificar comportamento inverso. Dessa forma, para modelagem apresentada na figura 10, notou-se gradiente decrescente, onde maiores valores de tensão superficial apresentaram velocidades menores. A redução da tensão superficial pode reduzir o tamanho das gotas no espectro da pulverização, mas a magnitude dessa redução está atrelada ao tipo de ponta de pulverização utilizada (Butler-Ellis et al., 2001).

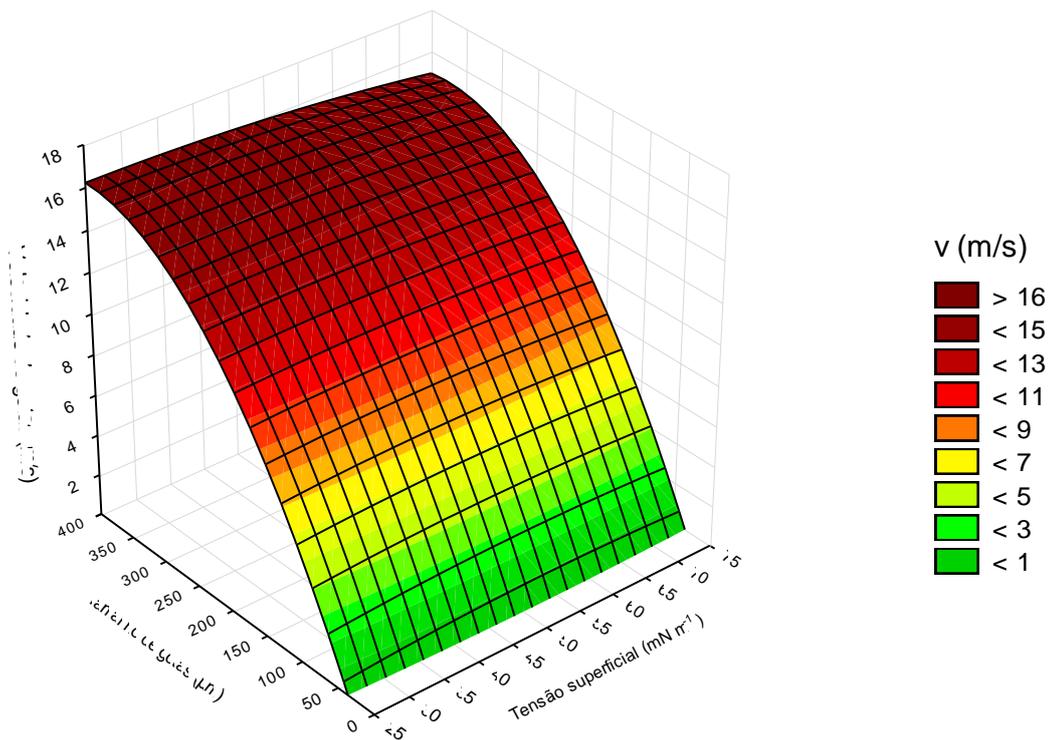


Figura 10. Efeito do tamanho de gotas e tensão superficial na velocidade de gotas de pulverização.

Assim como no modelo anterior, os planos representam as variáveis analisadas, enquanto que a velocidade apresenta os valores com as denominações de cores do gradiente.

4.3.1 Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e da presença do surfatante

O comportamento dos modelos matemáticos para a representação do tamanho de gotas pulverizadas em relação as concentrações com o uso de produto surfactante testados estão representadas nas figuras 11 e 12. O aumento da concentração de surfatante não alterou significativamente a relação entre tamanho de gota e velocidade das gotas (figura 11). A figura 12 mostra que os dados foram ajustados ao modelo quadrático ($R^2= 0,93$, $p<0,05$), indicando que quanto maior a gota maior a sua velocidade.

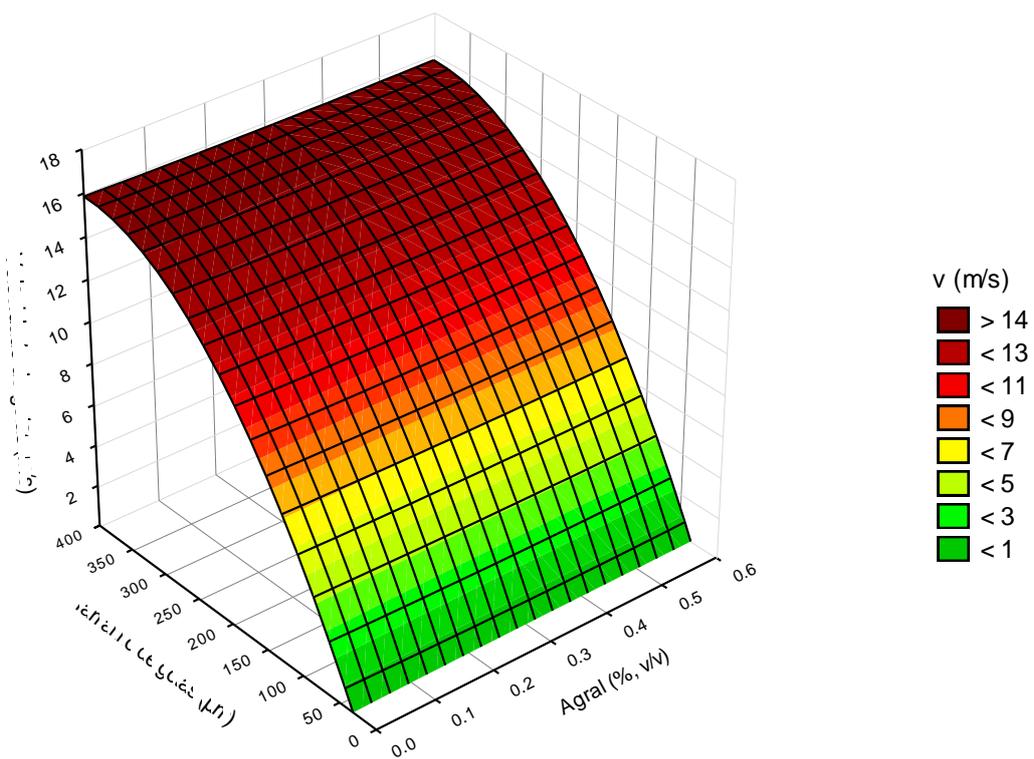


Figura 11. Efeito do tamanho de gotas e concentração do adjuvante Agral® na velocidade de gotas de pulverização.

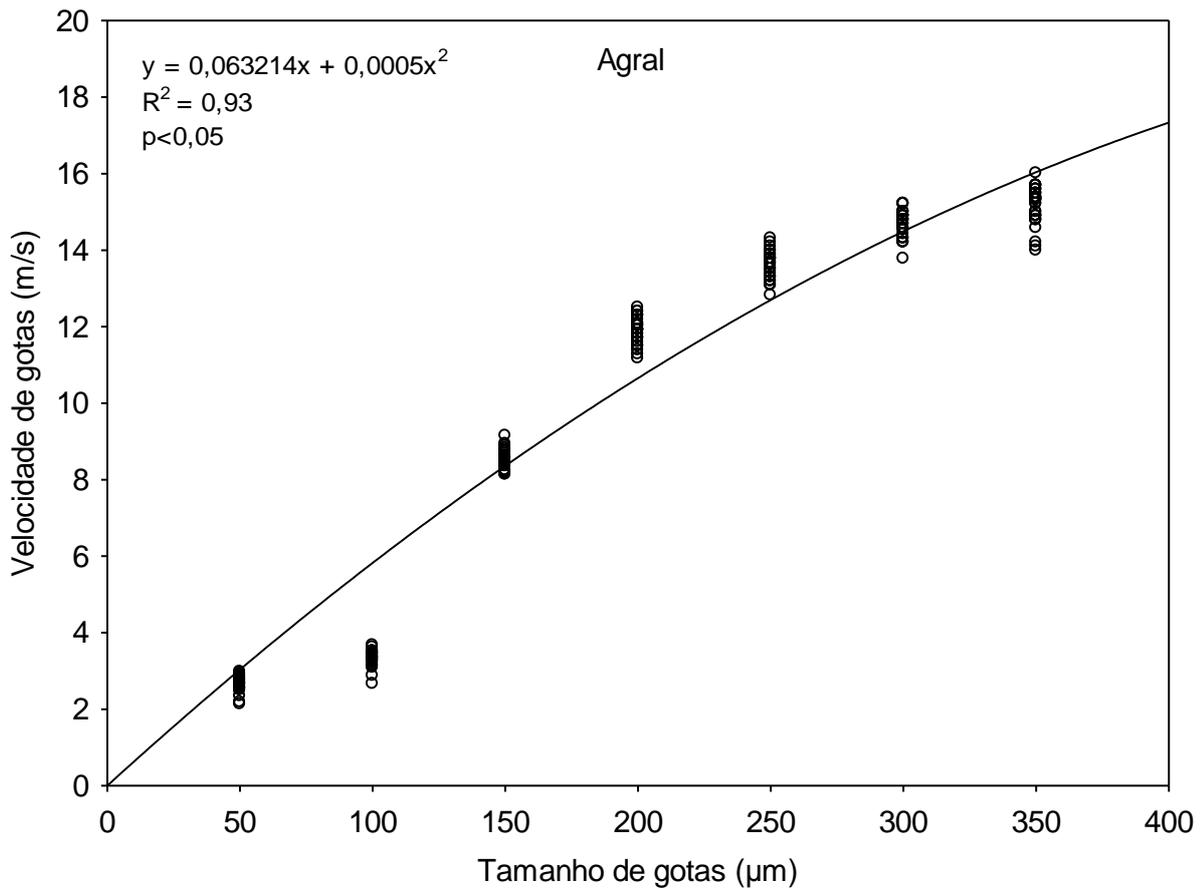


Figura 12. Efeito do tamanho de gotas contendo o adjuvante Agral® na velocidade de gotas de pulverização.

4.3.2 Modelagem da velocidade em função do tamanho das gotas e da presença do óleo vegetal

O comportamento dos modelos matemáticos para representação do tamanho de gotas pulverizadas em relação as concentrações com o uso de óleo vegetal testados estão representadas nas figuras 13 e 14. O aumento da concentração de Natur'oléo influenciou positivamente a velocidade das gotas, havendo um deslocamento do gráfico para extremidade superior direita. A figura 14 mostra que os dados foram ajustados ao modelo quadrático ($R^2 = 0,94$, $p < 0,05$), indicando que quanto maior a gota maior a sua velocidade. Os resultados também são compatíveis aos encontrados por França et al, (2017), em que a adição de óleo vegetal à calda aumenta a velocidade de gotas.

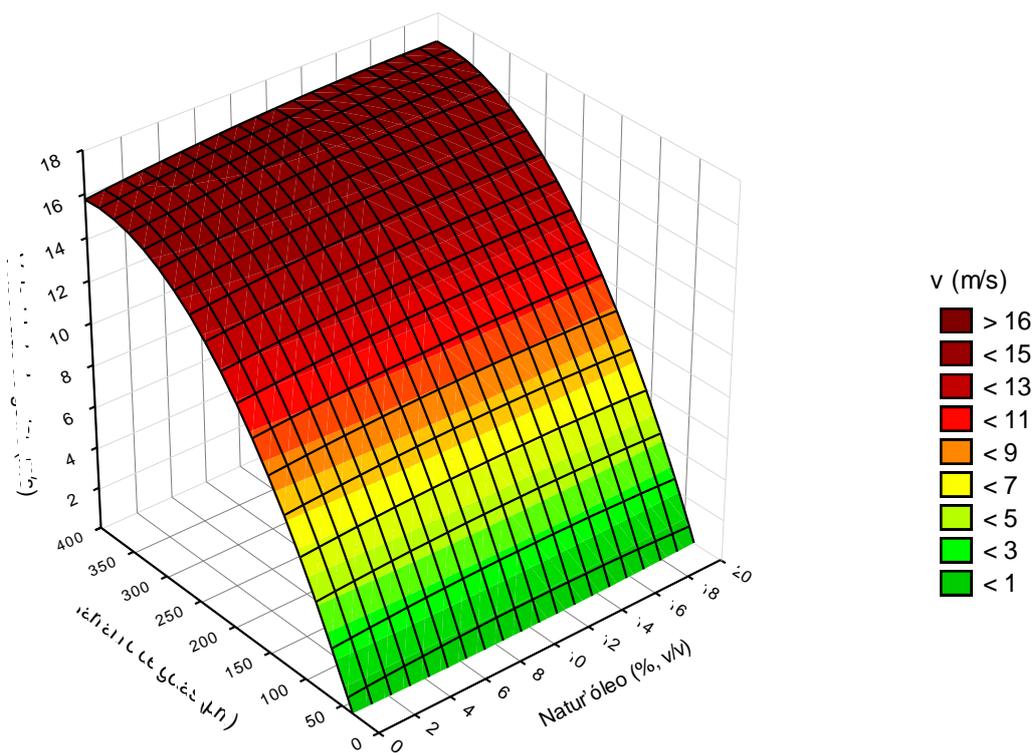


Figura 13. Efeito do tamanho de gotas e concentração do adjuvante Natur'óleo® na velocidade de gotas de pulverização.

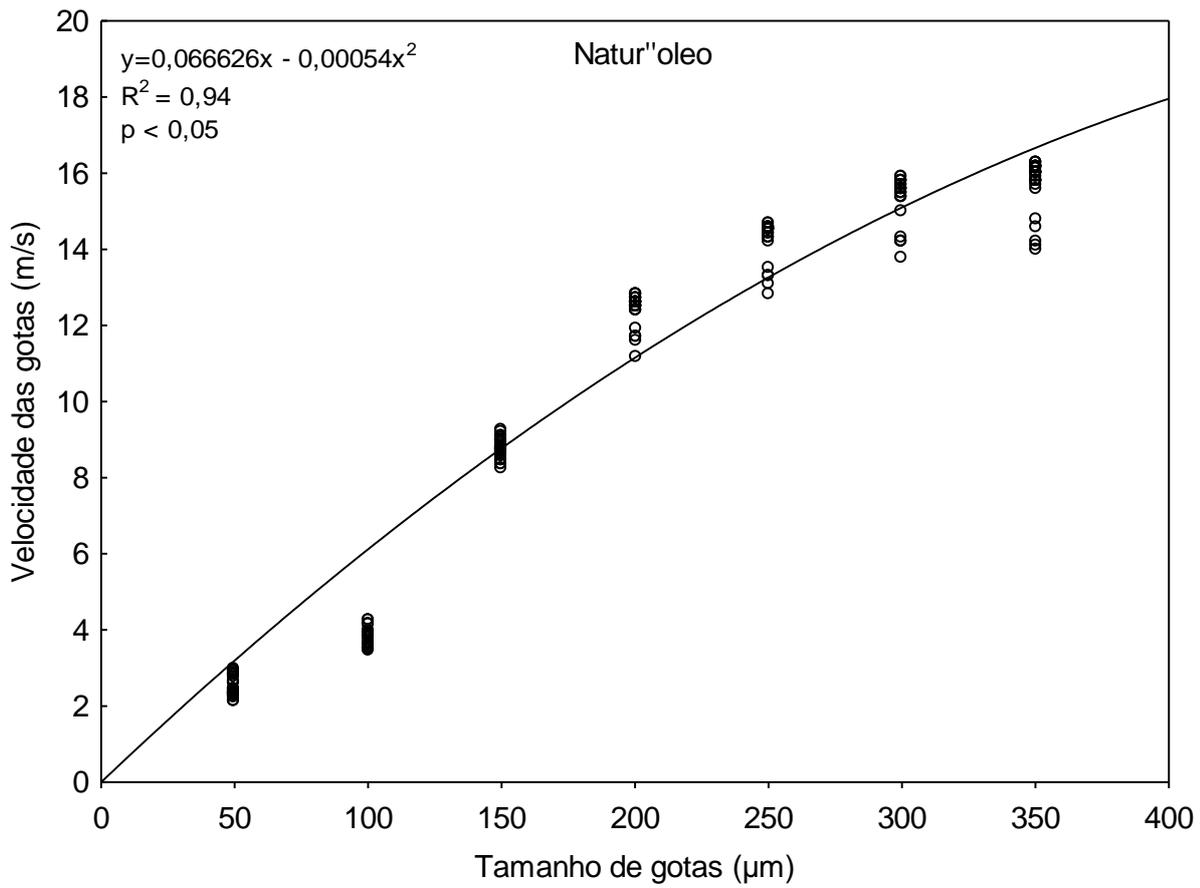


Figura 14. Efeito do tamanho de gotas contendo o adjuvante Natur'oleo® na velocidade de gotas de pulverização.

4.4 Correlação dos resultados

As correlações de viscosidade e tensão superficial com a velocidade de gotas para cada tamanho de gotas estão, respectivamente, apresentadas nas figuras 15 e 16. Observa-se, que em nenhum dos casos houve correlação significativa ($p > 0,05$). Entretanto, observa-se que, com exceção das gotas de 100 µm, em todas as demais classes de gotas as correlações foram sistematicamente positivas entre viscosidade e velocidade, e negativas entre tensão superficial e velocidade. Estes resultados são coerentes com os dados da modelagem apresentados anteriormente. QUEIROZ (2018) também não encontrou correlação significativa entre viscosidade e DMV, mas obteve igualmente este comportamento sistemático de correlações positivas ou negativas, dependendo da composição das caldas. No entanto, é importante ressaltar que estas relações são influenciadas também pelo tipo de ponta de pulverização utilizado (WOMAC et al., 1999).

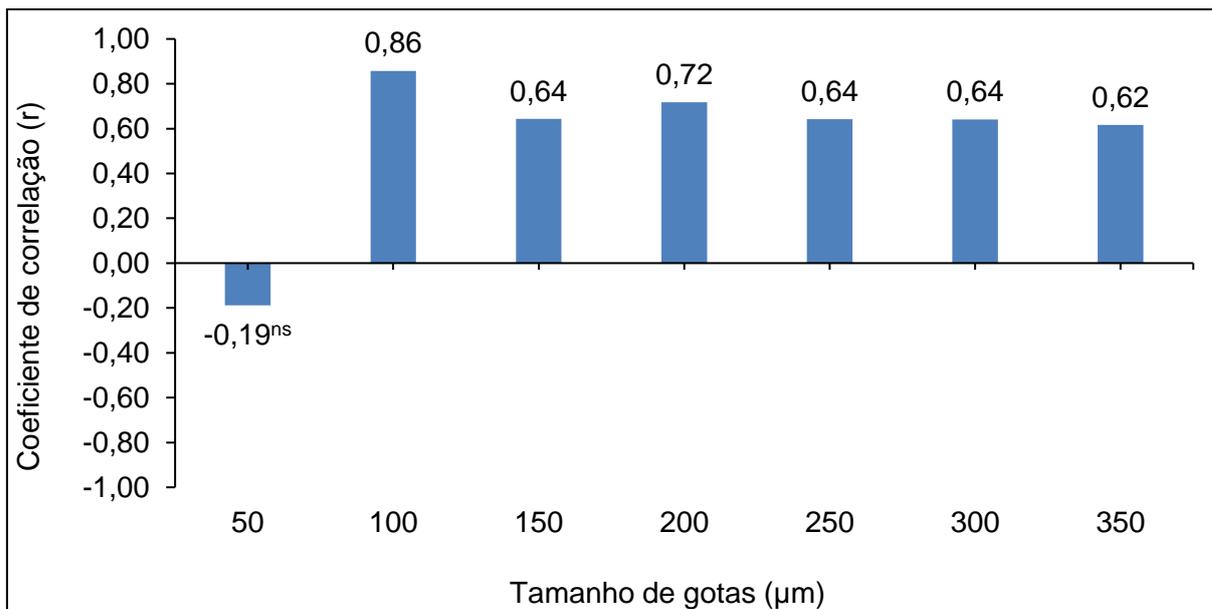


Figura 15. Correlação entre a viscosidade e velocidade de gotas com diferentes tamanhos de gotas (não-significativo pela correlação de Pearson, $p > 0,05$).

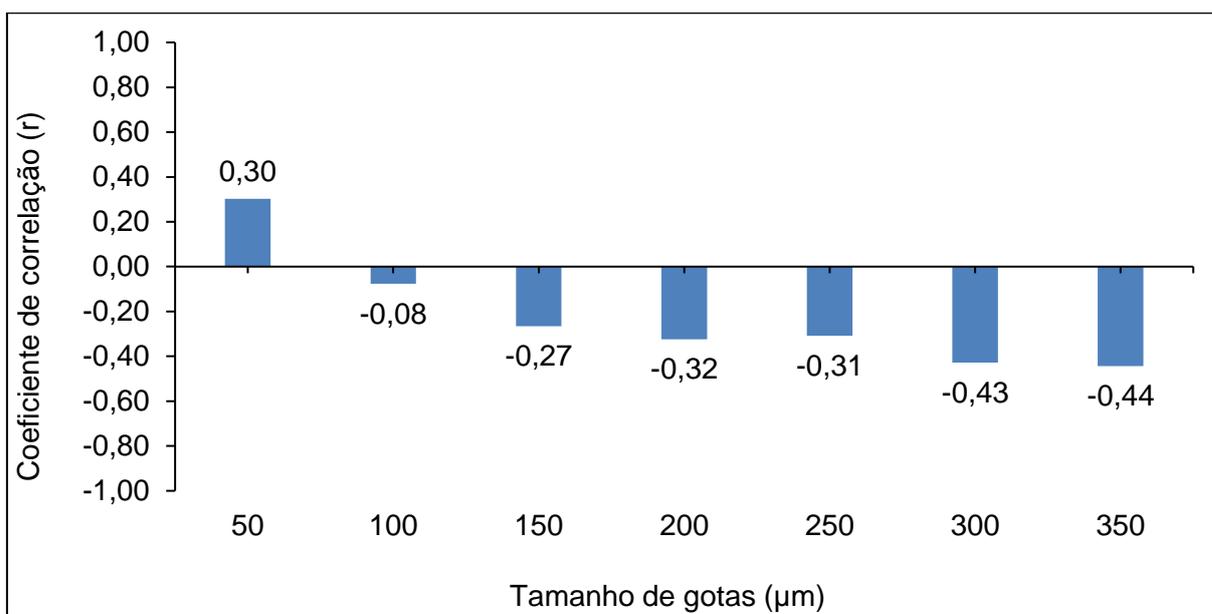


Figura 16. Correlação entre a tensão superficial e a velocidade de gotas com diferentes tamanhos de gotas (não significativo pela correlação de Pearson, $p > 0,05$).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos modelos tridimensionais indicarem a formação de gradiente ascendente da velocidade em função da viscosidade (tendência de maiores velocidades para maiores valores de viscosidade) e de um gradiente descendente da velocidade em função da tensão superficial (tendência de menores velocidades para maiores valores de tensão superficial), não foram verificadas correlações significativas entre a tensão superficial ou a viscosidade e as velocidades para cada tamanho de gota ($p > 0,05$). Independentemente disso, os resultados obtidos neste trabalho se somam aos inúmeros relatos presentes na bibliografia pertinente sobre a interferência das caldas no desempenho das pontas de pulverização. Novos estudos como este podem ser importantes para verificar o efeito dos diferentes tipos de pontas de pulverização na interação das propriedades físico-químicas das caldas com a velocidade de gotas.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que, para a ponta de pulverização XR 11003 na pressão de 2,8 bar, a velocidade de gotas não se correlaciona significativamente com tensão superficial e viscosidade das caldas. O modelo de regressão quadrático explica a relação entre tamanho de gota (de 50 a 350 μm) e velocidade para as caldas com surfactante e óleo vegetal, com maiores velocidades para as gotas maiores em ambas as caldas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D; RAETANO, C. G. Adjuvantes de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. pg 27- 49.

ANTUNIASSI, U. R. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF – 2017, 52p.

ANTUNIASSI, U. R. **Programa de Aplicação Responsável – qualidade e segurança na aplicação dos produtos fitossanitários**. Dow AgroScienes, V - novembro de 2015.

BERNA, R. **Espectro de gotas geradas por ponta de jato plano de impacto para aplicação aérea na presença de adjuvantes em caldas de pulverização**. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2017.

BISTAVA, S. R. **Mecânica dos fluídos: noções e aplicações**. 2 ed. Revista e ampliada- São Paulo: Blucher, 2016.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: 2ª edição, Pearson Prentice Hall, 2008.

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. **The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles**. Crop Protection, Guildford, v.16, n.1, p. 609-615, 1997.

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 Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, v. 190, n. 3, p. 267-276, 2001.

CARVALHO, F. K. **Viscosidade, tensão superficial e tamanho de gotas em caldas com formulações de inseticida e fungicida**. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2016.

CHECHETTO, R.G. **Potencial de redução de deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2011.

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

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Manual Shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Shell, 2002, 124p.

CUNHA, J. P. A. R. et al. **Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 39, n. 10, p. 977-985, Oct. 2004 .

FRANÇA, J. A. et al. **Spectrum, velocity and drift of droplets sprayed by nozzles with and without air induction and mineral oil**. *Engenharia Agrícola: Jaboticabal*, v.37, n.3, p.502-509, maio/jun. 2017.

FRANÇA, J. A. et al. **Spectrum and velocity of droplets of spray nozzles with and without air induction**. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.38, n.2, p.232-237, mar./apr. 2018.

FOX, R. W.; McDONALD, A.T. **Introdução a mecânica dos fluidos**. 8ª Ed. – Rio de Janeiro LTC, 2014.

FOISSAC, A. et al. **Droplet size and velocity measurements at the outlet of a hollow cone spray nozzle**. *Atomization and Sprays*, volume 21, number 21, 2011.

JONES, D.P. **Droplet size and velocity distributions for spray modelling**. *Journal of Computational Physics* 231, 2012.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide Application Methods**. 4th Edition. 536 p. Wiley- Blackwell, 2014.

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**. *Eng. Agríc.* vol.27 no.spe Jaboticabal Jan. 2007.

MINGUELA e CUNHA. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa MG: Aprendiz - 2010, 588p.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. **Tamanho da gota e características de velocidade dos sprays agrícolas**. *Transações do Asabe*, v.52, n.5, p.1471-1480, set. 2009.

OLIVEIRA e LOPES. **Mecânica dos fluidos**. Lisboa: 4ª Edição – LIDEL – edições técnicas Ltda, 2012.

QUEIROZ, M. F. P. **Espectro de gotas e características físicas de caldas com adjuvantes tensoativos e os herbicidas glyphosate e 2,4-d, isolados e em mistura**. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2018.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação. In: **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. PG 15- 26.

SANTOS, J. M. F. **Aspectos críticos na aplicação de defensivos agrícolas**. Disponível em: www.biologico.sp.gov.br acesso em 27/07/2007.

WALLHEIMER e CORVALAN. **Pesticide additives cause drifting droplets, but can be controlled**. Purdue University, 2012. Disponível em: <https://www.purdue.edu/newsroom/research/2012/120320CorvalanDroplets.html>. Acesso em: 11/06/2018.

VIEIRA, R. C. C. **Atlas de mecânica dos fluidos – fluidodinâmica**. São Paulo: editora Edgard Blucher Ltda, 1971.

WOMAC, A.R.; R.A. MAYNARD II; I.W. KIRK: **Measurement variations in reference sprays for nozzle classification**. Transactions of the ASAE, v. 42, n, 3, p. 609-616, 1999.