

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

SÉRGIO BASÍLIO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
ADJUVANTES E SUA INFLUÊNCIA NO ESPECTRO DE GOTAS E NA
DERIVA EM TÚNEL DE VENTO**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

SÉRGIO BASÍLIO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
ADJUVANTES E SUA INFLUÊNCIA NO ESPECTRO DE GOTAS E NA
DERIVA EM TÚNEL DE VENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: PhD. Marconi Ribeiro Furtado Júnior
Coorientador: PhD. Cleyton Batista de Alvarenga

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B312a Basílio, Sérgio, 1993-
2024 Análise das propriedades físico-químicas de adjuvantes e sua influência no espectro de gotas e na deriva em túnel de vento / Sérgio Basílio. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (69 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Junior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.441>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Produtos químicos agrícolas - Aplicação. 2. Gotas.
3. Biotecnologia agrícola. I. Furtado Junior, Marconi Ribeiro, 1987-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 632.95

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

SÉRGIO BASÍLIO


**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
ADJUVANTES E SUA INFLUÊNCIA NO ESPECTRO DE GOTAS E NA
DERIVA EM TÚNEL DE VENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


Orientador: PhD. Marconi Ribeiro Furtado Júnior
Coorientador: PhD. Cleyton Batista de Alvarenga

APROVADA :15/ Fevereiro /2024

Assentimento

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO BASILIO**
Data: 05/08/2024 08:17:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sérgio Basílio
Autor

Documento assinado digitalmente
 **MARCONI RIBEIRO FURTADO JUNIOR**
Data: 05/08/2024 08:32:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marconi Ribeiro Furtado Júnior
Orientador

Dedicatória

Aos meus pais, Filomena Simão (*in memoriam*), e Basílio Cassimo

À Kailan Basílio

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e coragem para enfrentar todos os desafios impostos durante esta caminhada, além de clarear o meu caminho para que eu pudesse conhecer pessoas e lugares fantásticos.

Aos meus orientadores Marconi Ribeiro Furtado Júnior e Cleyton Batista de Alvarenga, cuja orientação sábia foi determinante para a concretização deste trabalho. Suas experiências, paciência e dedicação foram inspiradoras, e sinto-me lisonjeado pela oportunidade de aprender sob sua orientação.

Aos meus familiares, pela força, ensinamentos, pelo apoio incondicional, e por terem sido o pilar desta caminhada acadêmica.

Aos amigos e colegas Handina, Beatriz, Thayron, Igor, Flávio, Charles, Priscila, Poliana, Paixão, pelos ensinamentos, companheirismo, tolerância, convivência e auxílio imprescindível em diversos momentos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Mecanização e Aplicação de Defensivos (GPMAD), e ao Grupo de Estudos em Tecnologia e Mecanização Agrícola da UFV (GETAM), pela compreensão, discussões, ensinamentos inestimáveis e tudo o quanto fizeram durante a minha formação acadêmica.

A Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de poder estar aqui e aprender.

Ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, e todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado durante esta jornada acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior - Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para realização deste trabalho.

O meu muito obrigado!

RESUMO

Basílio, Sérgio, Msc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro, 2024. **Análise das propriedades físico-químicas de adjuvantes e sua influência no espectro de gotas e na deriva em túnel de vento.** Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Coorientador: Cleyton Batista de Alvarenga.

A necessidade de melhorar cada vez mais a eficiência de aplicação de pesticidas e o controle fitossanitário, levou ao desenvolvimento de adjuvantes. No entanto, apesar da evolução dos adjuvantes, percebe-se que o controle de pragas, doenças e ervas daninhas continua sendo um gargalo na atividade Agrícola, assim são feitas aplicações de pesticidas em intervalos menores de modo a reduzir o nível de dano. A redução dos intervalos de aplicação pode aumentar a resistência das enfermidades, e contribuir no desequilíbrio ecossistêmico e até em última instância aumentar os custos financeiros. Assim, é fundamental compreender a dinâmica dos adjuvantes melhorar a sua aplicação e garantir a sustentabilidade da Agricultura. Neste sentido, realizaram-se experimentos objetivando-se avaliar as características físico-químicas, o espectro de gotas e o potencial de redução de deriva de 8 adjuvantes comerciais. Para o efeito, nas propriedades físico-químicas avaliaram-se tensão superficial, condutividade elétrica, densidade, pH, ângulo de contato, e no espectro de gotas os diâmetros volumétricos e o percentual de volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm e maior que 500 μm , por fim foi avaliada a deriva em túnel de vento. Os resultados indicaram que pode não existir uma relação direta entre as propriedades físico-químicas avaliadas com o espectro de gotas e deriva. Porém, alguns adjuvantes aumentaram o tamanho de gota. Além disso, a pressão de pulverização afeta de formas distintas o funcionamento dos adjuvantes, mas em geral, quanto maior for a pressão maior pode ser a redução do diâmetro mediano volumétrico e o aumento da porcentagem de gotas menor que 100 μm . No entanto os adjuvantes com percentual de volume de gotas menor que 100 μm maior apresentaram-se mais suscetíveis a deriva. Os adjuvantes a base de óleos apresentam melhor performance, porém é fundamental considerar o tipo de óleo a ser utilizado, para melhoria da qualidade de aplicação de pesticidas, isto porque cada óleo pode possuir dinâmicas diferentes.

Palavra-chave: Adjuvantes; Propriedades físico-químicas; Espectro de gotas; Potencial de redução de deriva.

ABSTRACT

Basílio, Sérgio, Msc., Federal University of Viçosa, February, 2024. **Analysis of the physicochemical properties of adjuvants and their influence on the droplet spectrum and drift in the wind tunnel.** Adviser: Marconi Ribeiro Furtado Júnior. Co-adviser: Cleyton Batista de Alvarenga.

The need to increasingly improve the efficiency of pesticide application and the control of pests, diseases, and weeds, has led to the development of adjuvants. However, despite the evolution of adjuvants, it is perceived that the control of pests, diseases and weeds still becomes a bottleneck in agricultural activity, so pesticide applications are made at shorter intervals or even increasing the recommended dose. The reduction of application intervals and the increase of application doses has significant negative impacts on the agricultural sector. Increasing doses and reducing application intervals cause ecosystem imbalance and can even increase disease resistance, and ultimately increase financial resources. Thus, it is essential to understand the dynamics of the adjuvants available in the sector to improve their application and better sustainability of Agriculture. In this sense, experiments were carried out to understand and evaluate the behavior of the physicochemical characteristics, droplet spectrum and drift reduction potential of 8 commercial adjuvants. For this purpose, surface tension, electrical conductivity, density, pH, contact angle were evaluated in the physicochemical properties, and in the droplet spectrum the volumetric diameters and the percentage of volume of droplets with a diameter less than one hundred microns and greater than five hundred microns, finally the drift in a wind tunnel was evaluated. The results indicated that there may not be a direct relationship between the chemical properties evaluated with the droplet and drift spectrum. However, some adjuvants increased the droplet size. In addition, the spray pressure affects the operation of the adjuvants in different ways, but in general, the higher the pressure, the greater the reduction in the volumetric median diameter and the increase in the percentage of droplets less than one hundred microns. However, adjuvants with a droplet volume percentage lower than one hundred microns higher were more susceptible to drift. Oils have better performance, but it is essential to consider the type of oil to be used, because each oil can have different dynamics to improve the quality of pesticide application.

Keywords: Adjuvants; Physicochemical properties; Droplet spectrum; Drift reduction potential.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS SOLUÇÕES DOS ADJUVANTES

Figura 1 - Tensão superficial e ângulo de contato de gotas	21
Figura 2 - Condutividade elétrica das soluções de adjuvantes avaliados.....	23
Figura 3 - Potencial Hidrogeniônico das soluções de adjuvantes.....	24
Figura 4 - Densidade das soluções de adjuvantes avaliados	25
Figura 5 - Tensão superficial e ângulo de contato das soluções dos adjuvantes	26

CAPÍTULO II: Espectro de gotas de soluções de adjuvantes, avaliados sob diferentes pressões de aplicação

Figura 6: Diâmetros volumétricos das pontas padrão	38
Figura 7 - Modelos ajustados para descrever o comportamento do $D_{v0.5}$ em função da pressão, sendo utilizado em $y=ax+b$	40
Figura 8 - Amplitude relativa dos adjuvantes testados	41
Figura 9 - Modelos ajustados para descrever o comportamento da AR dos adjuvantes em função de diferentes pressões de pulverização, sendo utilizado em $y=ax+b$	42
Figura 10 - Porcentagem de volume de gotas menores que 100 μm	43
Figura 11 - Porcentagem de volume de gotas maior que 500 μm	44
Figura 12 - Modelos ajustados para descrever o comportamento da porcentagem de volume de gotas menor que 100 e maior que 500 μm em função da pressão, sendo utilizado em $y=ax+b$	45
Figura 13 - Análise de componentes principais das propriedades físico-químicas e o espectro de gotas.....	46

CAPÍTULO III: Potencial de redução do risco de deriva das soluções de adjuvantes

Figura 14 - Dimensão e disposição dos coletores no túnel de vento	58
Figura 15 - Descrição geral da deriva em 4 distâncias horizontais e 5 alturas dos tratamentos avaliados	60
Figura 16 - Deriva dos adjuvantes a 0,1 m de altura em 4 distâncias e comparação múltipla	61
Figura 17 - Análise de componentes principais dos adjuvantes	62
Figura 18 - Potencial de redução de deriva dos adjuvantes estudados	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição dos adjuvantes avaliados	18
Tabela 2- Doses de adjuvantes utilizadas no experimento.....	19
Tabela 3-Resumo da análise de variância das propriedades físico-químicas das soluções dos adjuvantes	22
Tabela 4-Adjuvantes e doses usadas no experimento	36
Tabela 5 – Classificação do tamanho de gotas	39
Tabela 6:Valores médios do $D_{v0,9}$ dos adjuvantes testados	40
Tabela 7-Modelos preditos para descrever o comportamento da pressão no volume de gotas < 100 e > 500 μm nos adjuvantes testados, sendo definido em $y= ax+b$	45
Tabela 8- Equações para quantificar a concentração da solução dos tratamentos, sendo utilizado em $y=ax+b$	59
Tabela 9 - Resumo da análise de variância do espectro dos diâmetros volumétricos dos adjuvantes testados.....	68
Tabela 10 - Resumo da análise de variância da porcentagem de gotas menor que 100 e maior que 500 μm	68
Tabela 11 - Valores médios do $D_{v0,1}$ dos adjuvantes testados	68
Tabela 12 - Resumo dos Componentes principal 1 e 2.....	68
Tabela 13 - Resumo dos componentes principais 1 e 2	69

SUMÁRIO

Introdução Geral	11
Bibliografia.....	13
CAPÍTULO I.....	15
CARATERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS SOLUÇÕES DE ADJUVANTES	15
Resumo	15
1.0 INTRODUÇÃO	16
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1 Variáveis analisadas	19
2.1.1 Condutividade elétrica das soluções dos adjuvantes.....	19
2.1.2 Potencial Hidrogeniônico das soluções dos adjuvantes (pH)	20
2.1.3 Densidade das soluções dos adjuvantes.....	20
2.1.4 Tensão superficial e ângulo de contato das soluções dos adjuvantes.....	20
2.2 Tratamento e análise de dados	21
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1 Condutividade elétrica, pH e Densidade das soluções dos adjuvantes	22
3.1.2 Tensão superficial e ângulo de contato.....	25
4.0 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO II: ESPECTRO DE GOTAS DE SOLUÇÕES DE ADJUVANTES, AVALIADOS SOB DIFERENTES PRESSÕES DE APLICAÇÃO	32
Resumo	32
1.0 INTRODUÇÃO	33
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Condições do ensaio.....	35
2.1.1 Medição do Espectro de gotas	36

2.2 Tratamento de dados e Análise estatística	37
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 Resultados.....	38
3.1.1 Efeito dos Adjuvantes e Pressão no Espectro de Gotas e Amplitude Relativa.....	38
3.1.2 Efeito dos adjuvantes e pressão na porcentagem de gotas menor que 100 e maior que 500 micras	42
3.2 DISCUSSÃO	47
4.0 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS.....	52
CAPÍTULO III-POTENCIAL DE REDUÇÃO DO RISCO DE DERIVA DAS SOLUÇÕES DE ADJUVANTES	55
Resumo	55
1.0 INTRODUÇÃO	56
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1 Determinação da deriva em túnel de vento.....	57
2.2 Avaliação do potencial de deriva das soluções dos adjuvantes	57
2.2.1 Processamento do depósito	58
2.3 Análise e tratamento de dados	59
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.1 Resultados.....	60
3.2 Discussão	63
4.0 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS.....	66
APÊNDICE A - espectro de gotas de adjuvantes, avaliados sob diferentes pressões de pulverização.....	68
APÊNDICE B - potencial de redução do risco de deriva dos adjuvantes.....	69

Introdução Geral

Uma das formas de mitigar os agentes fitossanitários na agricultura, é com a utilização de pesticidas Agrícolas. No entanto, na tentativa de mitigação, muitos produtores utilizam os pesticidas de forma indiscriminada, o que faz com que boa parte do produto não atinja o alvo. O produto que não atinge o alvo perde-se por deriva e evaporação, e contribui no aumento dos riscos à saúde pública, e aumento nos custos de produção. (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018; GUICHERIT *et al.*, 1999; MARUBAYASHI *et al.*, 2021; TUDI *et al.*, 2021).

A deriva é um fenômeno complexo, e refere-se ao movimento das gotas pulverizadas para fora da área alvo, podendo ser afetada por vários fatores (ISO 22856, 2008). A intensidade da deriva está relacionada ao tamanho da gota, a altura em que foi liberada em relação ao alvo, à velocidade de lançamento, velocidade do vento, propriedades físico-químicas da calda e à metodologia de aplicação. O tamanho das gotas pode ter influência do tipo de ponta, pressão, fatores físico-químicos (viscoelasticidade, densidade, tensão superficial) (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018; CRISTIMIANO; MATIAS; NAIARA, 2019; MILANOWSKI *et al.*, 2022; TORRENT *et al.*, 2020; ZHANG e XIONG, 2021). Em geral o tamanho das gotas menor que 150 μm é um precursor da deriva (ASAE S572.3, 2020).

O transporte de gotas a locais fora do alvo torna o controle do tamanho das gotas parte crítica de qualquer aplicação bem-sucedida (FRITZ; HOFFMANN; HENRY, 2016). Para melhorar o tamanho da gota e reduzir a deriva, diversas estratégias têm sido estudadas com o intuito de melhorar a eficiência das aplicações de pesticidas. Dentre os esforços, destaca-se o uso de pontas de indução de ar, pulverização eletrostática, o ajuste adequado do pulverizador (pressão, altura), e a utilização de adjuvantes. Os adjuvantes, são substâncias sem efeito fitossanitário, que podem melhorar as características da calda e ou da aplicação.

Os adjuvantes podem interferir no aumento ou diminuição das propriedades físico-químicas e interferir na estabilidade e desintegração dos componentes da mistura (ZHANG e XIONG, 2021). O poder dos adjuvantes de alterar as propriedades físico-químicas possibilita a utilização na melhoria da qualidade de aplicação de pesticidas e na redução da deriva. Os adjuvantes podem reduzir a tensão superficial, aumentar a dispersão, aumentar a aderência das gotas na superfície alvo sendo melhor absorvidas pela planta, mas também podem alterar a

dinâmica de distribuição das gotas, podendo reduzir ou aumentar a deriva (STOCK e BRIGGS, 2000).

Vários adjuvantes existentes no mercado, são indicados pelos fabricantes como sendo multifuncionais, destacando-se como redutores de deriva. A compreensão do efeito desses adjuvantes é controversa entre os autores, tornando assim questionável até que ponto os adjuvantes podem melhorar a eficiência de aplicação e reduzir a deriva? portanto para entender este fenómeno, várias são as pesquisas feitas.

Resultados de Pesquisas com adjuvante à base de poliacrilamida com uso de amostradores ativos, verificaram o aumento do volume de distribuição de gotas maiores, e houve aumento de gotas finas. Neste estudo indicam haver maior deriva quando adicionado o adjuvante (KATZMAN; BOHBOT-RAVIV; DUBOWSKI, 2021). Além disso, Ellis, Tuck e Miller (2001) indicaram que os surfactantes influenciam a tensão superficial, a concentração de moléculas na superfície, e as características das gotas produzidas por pontas hidráulicas utilizadas para aplicação de pesticidas. Por outro lado, Schampheleire *et al.* (2009) e Carvalho *et al.* (2017) ao estudarem o efeito das propriedades físico-químicas na deriva de diferentes formulações de inseticidas e fungicidas, indicaram não haver correlação entre a tensão superficial das caldas e o tamanho das gotas.

Estudo feito por Polli *et al.* (2021) para analisar as propriedades físico-químicas de adjuvantes no efeito da distribuição do tamanho das gotas da mistura em tanque de glifosato e dicamba, observaram aumento da densidade, e a viscosidade da solução de pulverização causada por adjuvantes.

Neste contexto, vários autores relacionam a utilização de adjuvantes como ferramenta para maximizar a atividade de pulverização e redução da deriva. Porém, devido ao maior número de adjuvantes existentes, é necessário melhorar a capacidade de utilização dos adjuvantes visando agregar os pesticidas (MACHADO *et al.*, 2019). Para melhorar a utilização dos adjuvantes é imprescindível explorar e compreender os seus efeitos (BRABHAM *et al.*, 2019; CASTRO *et al.*, 2018; KATZMAN; BOHBOT-RAVIV; DUBOWSKI, 2021). Assim, é fundamental compreender a dinâmica e o contributo dos adjuvantes na melhoria da qualidade de aplicação de pesticidas. Neste contexto, objetivou-se avaliar o impacto das propriedades físico-químicas, espectro de gotas em diferentes pressões e o nível de deriva de 8 adjuvantes.

Bibliografia

ASAE S572.3. Approved March 2009; reaffirmed January 2014 as an American National Standard Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. v. 2009, p. 1–6, 2020.

BRABHAM, Chad *et al.* Spray deposition, adjuvants, and physiochemical properties affect benzobicyclon efficacy. **Weed Technology** v. 33, n. 2, p. 258–262, 2019.

CARVALHO, Fernando Kassis *et al.* Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection** v. 101, p. 19–23, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.014>>.

CONTIERO, Robinson Luiz; BIFFE, Denis Fernando; CATAPAN, Valdenir. Tecnologia de Aplicação. [S.l: s.n.], 2018.

CRISTIMIANO, José; MATIAS, João Paulo; NAIARA, Jéssica. Espectro de gotas produzidas com diferentes concentrações de calda e pontas de pulverização. 2019.

CARVALHO, Fernando Kassis *et al.* Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection** v. 101, p. 19–23, 2017.

ELLIS, B. 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* v. 180, n. 3, p. 267–276, 2001.

FRITZ, Bradley K.; HOFFMANN, W. Clint; HENRY, Ryan S. The effect of adjuvants at high spray pressures for aerial applications. **ASTM Special Technical Publication** v. STP 1595, p. 133–148, 2016.9780803176355.

GUICHERIT, R., BAKKER, D. J., DE VOOGT, P., VAN DEN BERG, F., VAN DIJK, H. F. G., & VAN PUL, W. A. J. Environmental Risk Assessment for Pesticides in the Atmosphere. **n. the Results of an International Workshop**; https://doi.org/10.1007/978-94-017-1536-2_2, 1999.

ISO 22856. International Standard International Standard .61010-1 © Iec:2001. [S.l: s.n.], 2008

KATZMAN, Doron; BOHBOT-RAVIV, Yardena; DUBOWSKI, Yael. Does polyacrylamide-based adjuvant reduce primary drift of airborne pesticides? **Science of the Total Environment** v. 775, p. 145816, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145816>>.

MACHADO, Willian A *et al.* Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola** v. 39, n. 1, p. 83–88, 2019.

MARUBAYASHI, Rodrigo Y.P. *et al.* Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 25, n. 4, p. 282–287, 2021.

MILANOWSKI, Marek *et al.* Effect of Adjuvant, Concentration and Water Type on the

Droplet Size Characteristics in Agricultural Nozzles. **Applied Sciences** v. 12, n. 12, p. 5821, 2022.

POLLI, Estefania Gomiero *et al.* Physical–chemical properties, droplet size, and efficacy of dicamba plus glyphosate tank mixture influenced by adjuvants. **Agronomy** v. 11, n. 7, 2021.

SCHAMPHELEIRE, Mieke *et al.* Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture** v. 10, n. 5, p. 409–420, 2009.

STOCK, DAVID; BRIGGS, GEOFF. Physicochemical Properties of Adjuvants: Values and Applications 1. **Weed Technology** v. 14, n. 4, p. 798–806, 2000.

TUDI, Muyesaier *et al.* Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. [S.l.: s.n.], 2021

ZHANG, Xiaoguang; XIONG, Lixia. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** v. 619, n. 94, p. 126557, 2021.

CAPÍTULO I

Caraterização dos atributos físico-químicos das soluções de adjuvantes

Resumo

As propriedades físico-químicas dos adjuvantes podem contribuir na melhoria da absorção e distribuição dos pesticidas nas plantas, e conseqüentemente melhorar o desempenho. Com o objetivo de avaliar as propriedades físico-químicas de diferentes soluções de adjuvantes, foi realizado um experimento em delineamento inteiramente casualizado, sendo constituído por 8 soluções de adjuvantes e 1 testemunha a base de água. Com um pH-metro portátil, um condutivímetro de bancada, um picnômetro e um analisador de formato da gota (DSA30), determinaram-se as propriedades potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, densidade, tensão superficial e ângulo de contato. Os resultados, de todas as variáveis analisadas com exceção da densidade foram significativas a 5% de probabilidade. O adjuvante a base de ácidos e sulfato, indicou maior condutividade elétrica e menor pH. Todos os adjuvantes reduziram a tensão superficial e o ângulo de contato, sendo que os adjuvantes à base de polímero, organossilicone e óleo mineral reduziram mais a tensão superficial, e no ângulo de contato dos adjuvantes de organossilicone e polímero destacaram-se mais em 66,43 e 54,96%, em relação à água. No entanto, a densidade manteve-se semelhante para todos os adjuvantes. Contudo, observou-se que as propriedades físico-químicas dos adjuvantes são influenciadas por sua composição, destacando-se o adjuvante à base de polímero como um maior redutor da tensão superficial, condutividade elétrica e ângulo de contato.

Palavras-chave: Adjuvantes; Tensão superficial; Ângulo de contato; Tecnologia de aplicação.

1.0 INTRODUÇÃO

Os adjuvantes desempenham um papel crucial na agricultura, fornecendo benefícios físico-químicos que podem aprimorar a eficácia das caldas de defensivos agrícolas (LIU *et al.*, 2023). No entanto, a eficiência e sustentabilidade da aplicação desses adjuvantes devem estar diretamente relacionadas à aplicação eficaz das caldas dos produtos fitossanitários (herbicidas, fungicidas, inseticidas, nematicidas e outros), e ao controle dos seus alvos (MORAES *et al.*, 2019). A melhoria na adesão e absorção de pesticidas por meio dos adjuvantes podem reduzir a necessidade de múltiplas aplicações, contribuindo assim para um controle fitossanitário mais eficaz.

Embora muitos estudos tenham sido conduzidos para otimizar a mistura de tanque de pesticidas e adjuvantes visando aprimorar o controle fitossanitário, a eficácia dessas misturas pode ser comprometida pela complexidade das interações observadas, muitas vezes imprevisíveis (FERREIRA *et al.*, 2020; LYDY *et al.*, 2004; MACHADO *et al.*, 2019; POLLI *et al.*, 2021; ZHAO *et al.*, 2022). A falta de informações relacionadas a propriedade físico-química dos adjuvantes pode contribuir na menor eficiência das misturas, aumentando os riscos ambientais e econômicos associados à agricultura.

Dentre os fatores físico-químicos que influenciam a eficácia da aplicação de pesticidas, destacam-se a tensão superficial, o ângulo de contato, a densidade, a condutividade elétrica e o pH. Esses fatores podem ser afetados pelo ambiente e influenciar as interações entre os componentes da calda de aplicação e a superfície das plantas (OLIVEIRA; ANTUNIASSI; GANDOLFO, 2015). Compreender o papel das propriedades físico-químicas dos adjuvantes é crucial para a seleção adequada de produtos a serem utilizados, otimizando a adesão das gotas de pulverização as plantas, minimizando a deriva e garantindo a absorção eficaz, resultando em uma proteção mais eficiente das culturas (GAO *et al.*, 2022).

Cunha, Alves e Marques (2017) destacaram a importância da tensão superficial e do ângulo de contato na escolha de adjuvantes, uma vez que esses fatores influenciam o espalhamento da solução sobre a superfície das plantas e a interação com a sua morfologia, afetando a absorção e, conseqüentemente, a eficácia dos produtos fitossanitários. Da mesma forma, para alguns autores, a densidade afeta o tamanho da gota e a velocidade de sedimentação (MILANOWSKI *et al.*, 2022).

Ademais, é importante ressaltar que as propriedades físico-químicas destacadas, podem influenciar o funcionamento dos adjuvantes de maneiras distintas, dependendo do tipo de adjuvante utilizado, como observado nesta pesquisa. Por exemplo: Machado *et al.* (2019) avaliando o efeito de pontas de pulverização, taxas de aplicação e adjuvantes, perceberam que os adjuvantes aumentaram a condutividade elétrica e reduziram a tensão superficial. Da mesma forma, Polli *et al.* (2021) estudaram as propriedades físico-químicas de misturas em tanque de herbicidas e adjuvantes, constataram que os adjuvantes aumentaram a densidade da calda e reduziram o ângulo de contato e tensão superficial da calda. Além disso, Gao *et al.* (2022) estudaram o efeito dos adjuvantes na molhabilidade de bifentrina nas folhas de chá, reportaram que os adjuvantes a base de óleo, organosilicone, e surfactante não iônico quando adicionados a calda proporcionam correlação negativa entre o ângulo de contato e a tensão superficial.

Diante da complexidade das interações dos fatores físico-químicos das caldas, torna-se desafiador a utilização de adjuvantes de forma eficaz. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o desempenho das propriedades físico-químicas de diferentes adjuvantes para compreender as possíveis interações decorrentes de sua aplicação.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas gerais. E no Centro de Excelência em Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia-Campos (Monte Carmelo).

No experimento foram analisadas 8 soluções de adjuvantes e um testemunho (água) em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os adjuvantes utilizados foram: Agefix (Agecom), Assist (BASF), Disperse Ultra (Ubyfol), ADMAX (Multiprime), BREAK-THRU (Evonik), Agral (Syngenta), Aureo (Bayer) e Silicon SG (SYSGROW). A descrição dos adjuvantes, segundo os fabricantes encontram-se abaixo (Tabela-1).

Tabela 1- Descrição dos adjuvantes avaliados

		Adjuvantes						
	Agefix	Assist	Disperse Ultra	ADMAX	BREAK-THRU	Agral	Aureo	Silicon SG
Composição	Óleo mineral- 920 g L ⁻¹ (92,0% m v ⁻¹).	Óleo mineral 782 g L ⁻¹	Organosilicoinado-surfactante (polidimetil siloxano). Água, fosfat monoamônico cristal, ureia, alcalinizante e tensoativo.	Água, ácido hidroxílico, ácido fosfórico, Sulfato de manganês.	Polyether-Polymethyl siloxane-Copolymer - (100%).	Nonil fenoxi poli (etilen oxi) etanol -200 g L ⁻¹ (20% m v ⁻¹).	Éster metílico de soja- 720 g L ⁻¹ (72.0 % m v ⁻¹).	Tensoativos/surfactante e silicones.
Utilização	Espalha e redutor de deriva em herbicidas.	Espalha e redutor de deriva.	Redutor de deriva, espalhante, redutor de espuma, surfactante e umectante.	Redutor de deriva, penetrante, fertilizante foliar.	Espalhante aderente/ penetrante e redutor de deriva.	Espalhante e adesivo.	Espalhante.	Redutor de deriva, espalhante adesivo, redutor de espuma.
Propriedades	Redução da tensão superficial; aumenta a aderência das	Aumenta o espalhamento; redutor de deriva; Aument	Aumenta a atividade biológica; permite a distribuição mais adequada das	Melhora a deposição, produz gotas uniformes,	Aumenta as características de molhamento e reduz a tensão superficial da calda de	Aumenta a absorção e penetração;		Reduz o pH e a tensão superficial da água.

gotas na superfície e da folha; facilita a absorção de produtos hidrossolúveis.	o da velocidade de penetração do produto através da cutícula.	formulações sobre as superfícies foliares, aumentando a absorção e translocação dos compostos aplicados.	reductor de pH, antiespumante.	pulverização.	tensão superficial da calda.
---	---	--	--------------------------------	---------------	------------------------------

*Informação insuficiente na bula do fabricante; ** informação disponível na bula do fabricante. Fonte: Autor (2023).

Todos os adjuvantes utilizados foram misturados com água destilada, em um béquer de 0,6 L, de acordo com as doses e recomendações do fabricante (Tabela-2). A solução contida no béquer, foi agitada por 5 minutos em um agitador magnético (RC LABOR- 550 watts) a 650 rpm. A quantidade de 0,6 L foi dividida por 3 (repetições) em 0,2 L em béquer de 0,25 L.

Tabela 2- Doses de adjuvantes utilizadas no experimento

Adjuvante	Dose% (v v ⁻¹)
Disperse ultra	0,04
Agral	0,05
Silicon SG	0,20
BREAK-THRU	0,10
AD Max	0,05
Agefix	1,00
Assist	1,00
Aureo	0,50

Fonte: Autor (2023)

2.1 Variáveis analisadas

2.1.1 Condutividade elétrica das soluções dos adjuvantes

As medições da condutividade elétrica foram feitas com condutivímetro de bancada (Tecnocon, mCA150), com precisão de $\pm 0,1$. Antes da utilização, o equipamento foi calibrado utilizando a solução padrão. Nos béqueres contendo a solução (água + adjuvante), foi colocado o eletrodo, até que a leitura se estabilizasse. Após cada leitura, o eletrodo foi limpo com água destilada e seco com papel toalha (POLLI *et al.*, 2021). A condutividade elétrica, indica a concentração de íons na solução e pode indicar a reatividade.

2.1.2 Potencial Hidrogeniônico das soluções dos adjuvantes (pH)

A medição do potencial hidrogeniônico (pH) foi feita com um pH-metro portátil (KASVI-K39) com precisão de $\pm 0,1$. Antes da utilização, o equipamento foi calibrado utilizando as soluções padrão. Os valores foram coletados após a estabilização da leitura. Após cada leitura, o eletrodo foi limpo com água destilada e seco com papel toalha. O pH, indica a possibilidade de acidez e hidrólise da solução (FERREIRA *et al.*, 2020).

2.1.3 Densidade das soluções dos adjuvantes

As densidades das misturas do adjuvante e água foram avaliadas de acordo com a norma ABNT NBR 13826, sendo utilizado um picnômetro de 25 mL, balança de precisão de 0,1 mg, a temperatura de $20 \pm 0,5$ °C. A densidade foi determinada a partir da massa da solução depositada no picnômetro. A temperatura da solução foi medida com um termopar do tipo K ligado a um monitor da instrutherm.

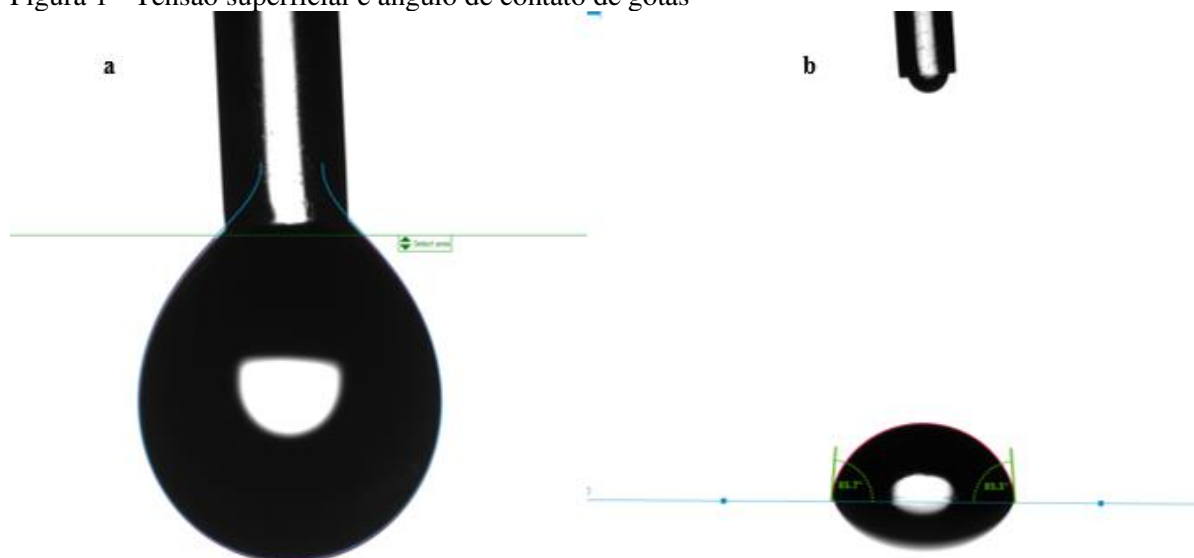
2.1.4 Tensão superficial e ângulo de contato das soluções dos adjuvantes

A tensão superficial e o ângulo de contato, foram avaliados utilizando o analisador do formato de gota (DSA30), seguindo os métodos de gota pendente para determinar a tensão superficial (Figura-1a) e da gota séssil para determinar o ângulo de contato (Figura-1b) (MILANOWSKI *et al.*, 2022).

Para aspirar as soluções, foi utilizada uma seringa com agulha número 2, com capacidade de 10 μ L. Após a aspiração do volume, a gota manteve-se suspensa e foi avaliada a tensão superficial através das forças exercidas por cada líquido suspenso. Todos os adjuvantes, exceto BREAK-THRU foram avaliados dentro de 60 segundos.

Devido ao maior espalhamento do BREAK-THRU não foi possível avaliar em 60 segundos, entretanto, para obter o seu ângulo de contato e tensão superficial foi gravado um vídeo em tempo real. A forma da gota foi obtida através da relação do volume e massa, ajustado a partir da equação de Young Laplace. A Figura 1b mostra o ângulo de contato da gota em uma superfície padrão (papel filme) traçada pela projeção do equipamento. Foram consideradas 6 repetições por cada tratamento.

Figura 1 - Tensão superficial e ângulo de contato de gotas



Fonte: Autor (2023).

2.2 Tratamento e análise de dados

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância. As médias das variáveis, foram comparadas pelo teste de tukey, com um nível de probabilidade de 5%. Para a análise utilizou-se o pacote ExpDes do software R (4.2.3). Na tensão superficial e ângulo de contato, foram realizados testes de dunnet e tukey a 5% de probabilidade.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Condutividade elétrica, pH e Densidade das soluções dos adjuvantes

A análise de variância dos dados indicou efeito significativo dos tratamentos (adjuvantes) nas variáveis analisadas, excetuando-se apenas a densidade (Tabela 3).

Tabela 3-Resumo da análise de variância das propriedades físico-químicas das soluções dos adjuvantes

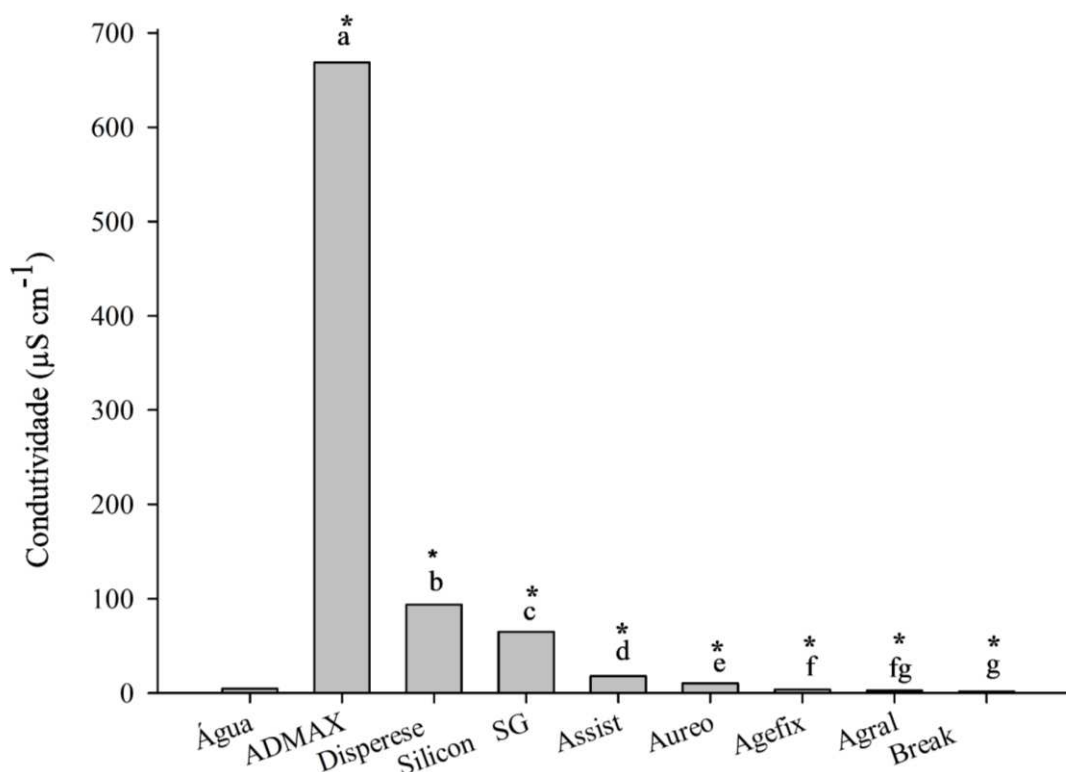
FV	GL	CE	pH	Densidade
Adjuvante	8,00	128,33*	7,18*	112,65 ^{ns}
Resíduo	18,00	0,67	0,05	23,44
Total	26,00			
CV (%)		0,35	4,31	5,56
FV	GL	T.S	A.C	
Adjuvante	8,00	1.583,90*	1.483,10*	
Resíduo	45,00	7,7	27,70	
Total	52,00			
CV (%)		2,3	7,62	

FV-fonte de variação, GL-graus de liberdade, CE-condutividade elétrica, pH-potencial Hidrogeniônico, T.S-tensão superficial, A.C-ângulo de contato. ns-não significativo, *-significativo a 5% de probabilidade, CV-coeficiente de variação. Fonte: Autor (2024)

A solução contendo o adjuvante ADMAX registrou a mais alta condutividade elétrica, com um incremento de 15072,88% em relação à água. Por outro lado, soluções contendo adjuvante Agefix, Agral e BREAK-THRU demonstraram reduções na condutividade elétrica em 20,81%, 43, 65%, e 66, 94%, relação a água. Foram observadas diferenças estatísticas entre as soluções dos adjuvantes avaliados, exceto entre Agefix-Agral e Agral - BREAK-THRU (Figura-2). Nota-se que tanto a solução de Agefix quanto a de Assist são derivados de hidrocarbonetos parafínicos, no entanto, ainda assim, apresentaram diferenças significativas na condutividade elétrica. Essa tendência está relacionada a composição dos adjuvantes e bem como a sua capacidade de ionização quando em solução (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017).

O efeito da condutividade elétrica na eficácia de aplicação de defensivos não é um conhecimento de clareza total, porém, soluções com elevada quantidade de íons podem influenciar a interação com os defensivos agrícolas, afetando sua distribuição, e reduzir a eficiência biológica de alguns produtos, devido as possíveis reações que podem ocorrer (TAVARES, CUNHA 2023).

Figura 2 - Condutividade elétrica das soluções de adjuvantes avaliados



Adjuvantes com o mesmo grupo de letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet. Fonte: Autor (2023).

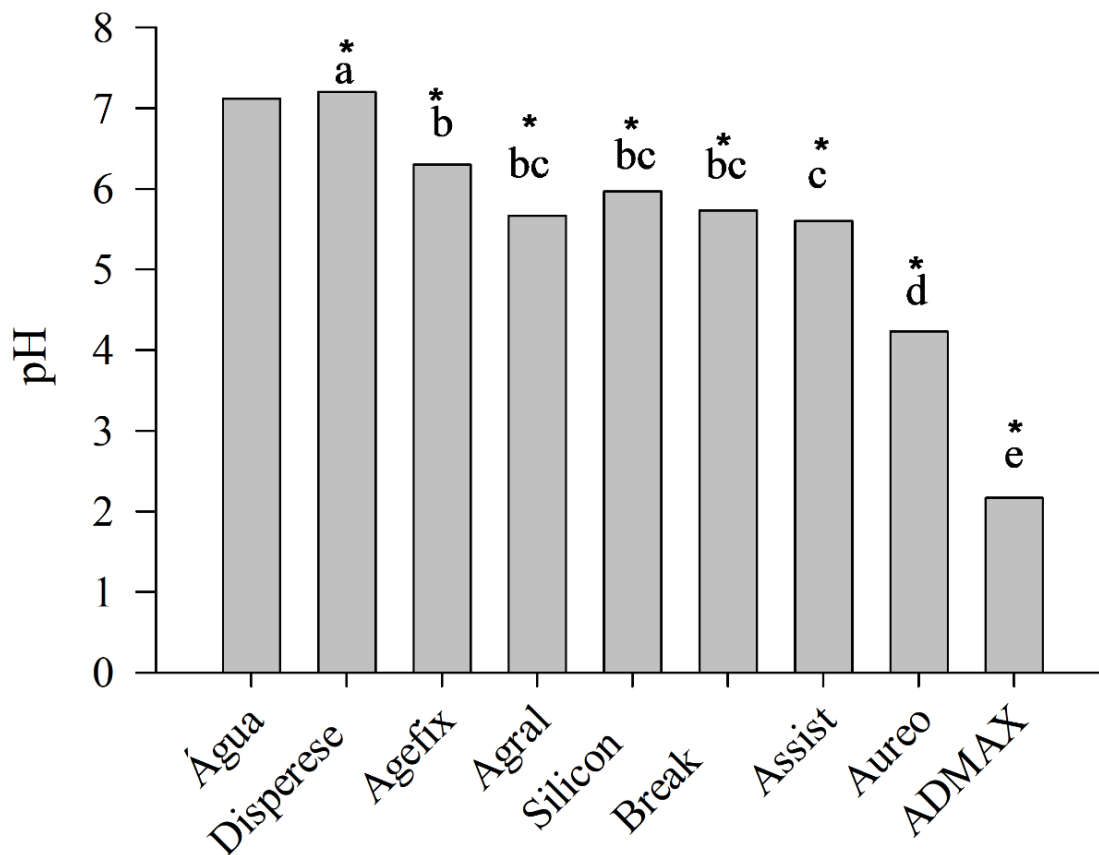
Machado *et al.* (2019) ao estudarem misturas de tanque do inseticida imidacloprid com adjuvante contendo sulfato de éster em sua composição obtiveram 875,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de condutividade elétrica, sendo que este foi o maior valor observado. De igual forma, Cunha, Alves e Marques (2017) ao avaliarem propriedades físico-químicas de caldas de produtos fitossanitários com adjuvantes, observaram que o adjuvante contendo ácido propiónico em sua composição se ioniza e eleva a condutividade e o adjuvante com óleo mineral teve a menor condutividade, corroborando com os resultados desta pesquisa.

Por outro lado, Ribeiro *et al.* (2021) referem que Assist e Aureo quando adicionado a fungicidas fox e orchestra não afetaram a condutividade elétrica dos fungicidas. Cunha, Alves e Marques (2017) observaram que o adjuvante a base de óleo vegetal utilizado nesta pesquisa possuía 7,75 $\mu\text{S cm}^{-1}$, corroborando com os resultados desta pesquisa.

Dentre as soluções de adjuvantes avaliados, o Disperse Ultra apresentou a menor variação de pH em comparação a água, tendo atingindo 1,12% a mais. As soluções dos adjuvantes Agefix, Agral, Silicon SG e BREAK-THRU não apresentaram diferenças estatísticas entre si no potencial Hidrogeniônico. No entanto, apenas o Agefix diferiu do Assist. Das soluções dos adjuvantes avaliados, o Aureo e ADMAX, apresentaram os menores valores

de pH, tendo se observado reduções de 41,01% e 69,10% respectivamente, apresentando assim diferenças estatísticas entre si e em relação às demais soluções (Figura-3).

Figura 3 - Potencial Hidrogeniônico das soluções de adjuvantes



Adjuvantes com o mesmo grupo de letras não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet. Fonte: Autor (2023).

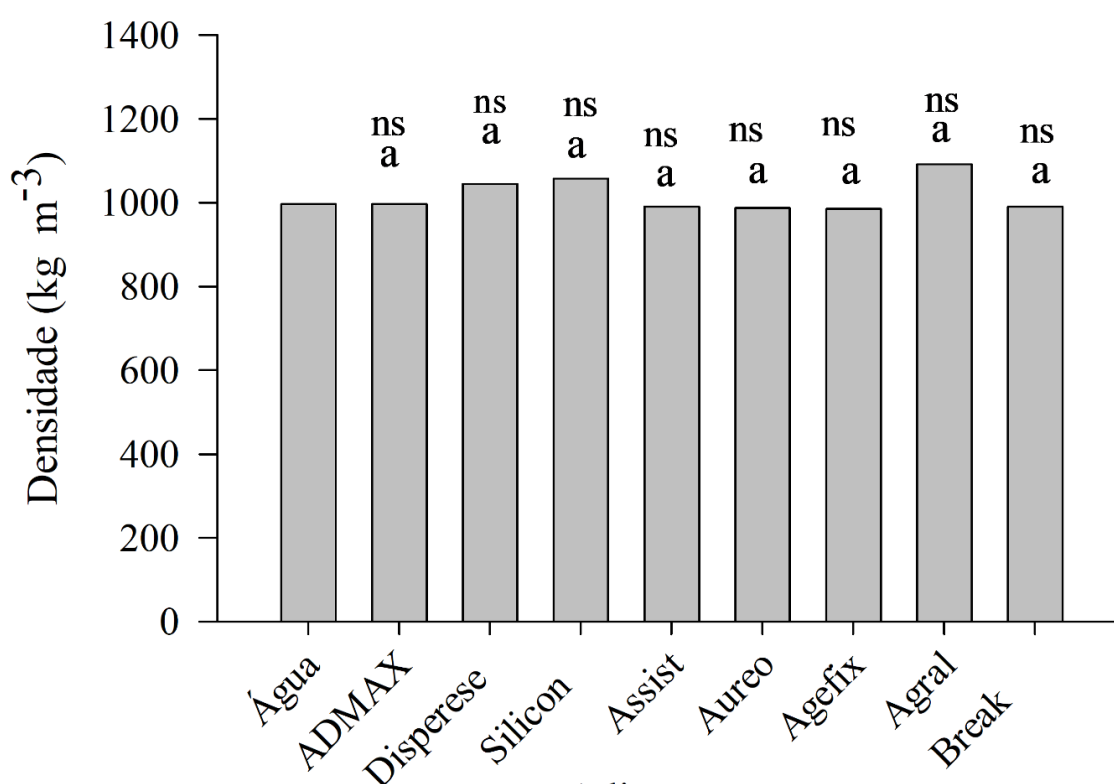
O pH é um fator crucial que pode afetar a eficiência dos produtos, uma vez que pode induzir a inativação ou degradação dos ingredientes ativos (MACHADO *et al.*, 2019). Os ácidos presentes no adjuvante podem atuar como acidificantes, reduzindo o pH das soluções e prevenir a hidrólise alcalina de diversos produtos (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017; PETTER *et al.*, 2013).

Por outro lado, Ribeiro *et al.* (2021) refere que adição de adjuvantes com propriedades de fertilizantes foliares a calda de fungicidas interferem o pH das soluções devido à natureza da composição do fertilizante. Isso foi evidenciado pelo adjuvante ADMAX, que além de ser adjuvante, também é um fertilizante foliar constituído de substâncias acidificantes, as substâncias ácidas, ionizam-se liberando íons H^+ , o que reduz o pH. No entanto, é importante destacar que, em geral, muitos defensivos agrícolas são mais sensíveis a alcalinidade do que à acidez (KISSMANN, 1998).

Cunha, Alves e Marques (2017) observaram diferenças significativas entre o adjuvante à base de éster metílico de soja empregue nesta pesquisa com os demais adjuvantes à base óleo mineral (Nimbus) e ácido propiônico (LI700), resultados que corroboram com os encontrados na presente pesquisa.

Apesar de muitos autores indicarem que os adjuvantes podem aumentar a densidade, os resultados da presente pesquisa mostraram que não foram observadas diferenças significativas na densidade em todas as soluções de adjuvantes avaliados (Figura-4).

Figura 4 - Densidade das soluções de adjuvantes avaliados



Adjuvantes com mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, e ns não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet. Fonte: Autor (2023).

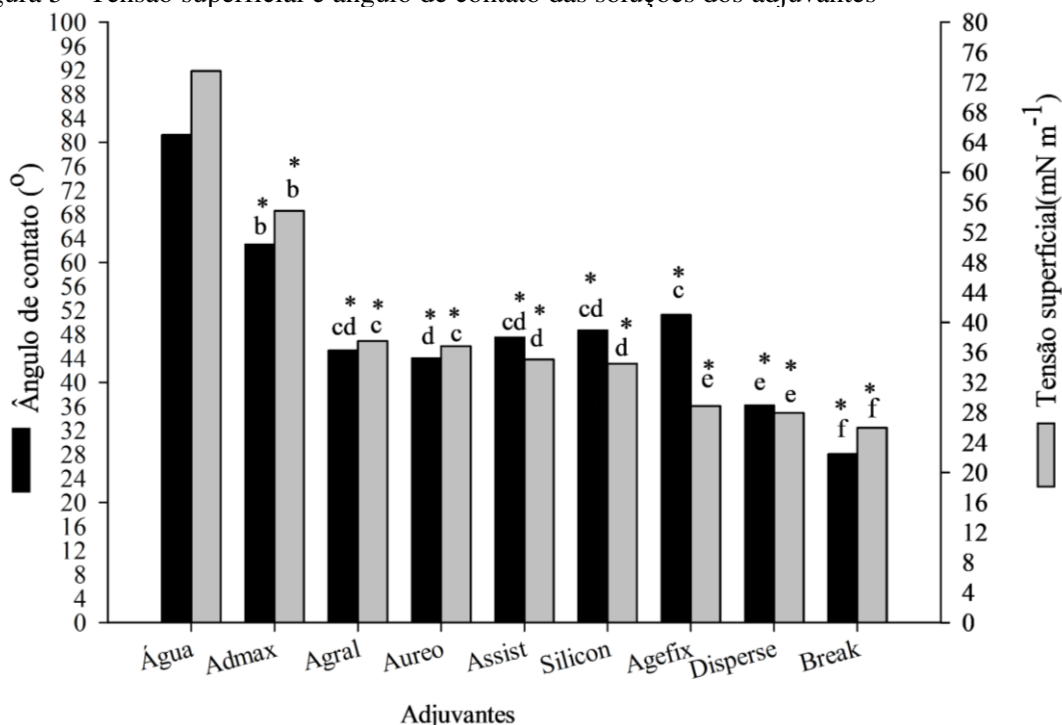
3.1.2 Tensão superficial e ângulo de contato

A análise de variância indicou diferenças estatisticamente significativas para as variáveis tensão superficial e o ângulo de contato ($p < 0.05$). Todos os adjuvantes reduziram a tensão superficial em comparação com água (Figura-5). Sendo que, os adjuvantes BREAK-THRU, Disperse Ultra, Agefix, à base de polímero, organosilicone e óleo mineral, reduziram em 64,74%, 62,34%, 60,90%, respectivamente, em relação a água. Ademais, todos os adjuvantes reduziram o ângulo de contato em comparação com água. Os adjuvantes à base de

organosilicone e polímero reduziram o ângulo de contato em 66,43% e 54,96%, respectivamente, sendo as maiores reduções observadas, em relação à água.

O teste de Tukey, indicou que os adjuvantes Agral, Aureo, Assist, Silicon SG, Agefix apresentaram ângulo de contato semelhante, com exceção do Aureo que apresentou uma diferença significativa em relação ao Agefix (Figura-5).

Figura 5 - Tensão superficial e ângulo de contato das soluções dos adjuvantes



Adjuvantes com o mesmo grupo de letras não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, e * significativo pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

A redução da tensão superficial e o ângulo de contato podem melhorar o espalhamento da calda na planta e melhorar a qualidade do controle fitossanitário (GAO *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019). No entanto, é importante observar que gotas com ângulo de contato maior são passíveis de deslocar e escoar. He *et al.* (2019) indicaram que a redução da tensão superficial e do ângulo de contato podem variar em função das propriedades da solução, como foi observado na presente pesquisa.

A tensão superficial e ângulo de contato variaram, porém, a tensão superficial pode ter afetado o ângulo de contato. Portanto, as variações observadas podem estar relacionadas à qualidade e quantidade dos emulsionantes adicionados a cada formulação como relatado por Cunha e Marques, (2017). Soluções com alta taxa de espalhamento podem ser absorvidas em

menor tempo dependendo da área da planta a ser aplicada, otimizando assim a utilização de alguns pesticidas e reduzindo as perdas por evaporação e escoamento (ZHAO *et al.*, 2022).

Para Mendonça, Raetano e Mendonça (2007) adjuvantes que não se dispersam homogeneamente em água reduzem pouco a tensão superficial. Portanto, esta característica foi observada no adjuvante ADMAX. Além disso, considerando que o ADMAX apresentou uma condutividade elétrica 15072% maior que a água, a alta concentração de íons pode favorecer a interação das moléculas do adjuvante com a água, afetando suas propriedades de superfície e, conseqüentemente, a tensão superficial.

O ângulo de contato das gotas relaciona-se com área de espalhamento da gota sobre uma superfície. De forma geral, quanto menor for o ângulo de contato, melhor será o molhamento e menor será a probabilidade de as gotas escorrerem. Por outro lado, o espalhamento auxilia na abertura de canais de absorção por onde os ingredientes ativos dos defensivos agrícolas podem passar. Gotas com ângulo de contato menor podem ter maior área de espalhamento, o que significa que cobrirá uma superfície maior. Além disso, vale destacar que com um maior espalhamento, o tempo de secagem torna-se menor, e conseqüentemente o tempo de absorção pode ser reduzido, levando a uma menor quantidade de ingrediente ativo absorvida pela superfície da planta, o que pode possibilitar a ineficácia da aplicação (ZHONG *et al.*, 2023).

Os resultados desta pesquisa destacam a importância dos adjuvantes na modificação da tensão superficial e ângulo de contato como evidenciado por Wang *et al.* (2018). Os adjuvantes à base de silicone e polímero alteram mais a tensão superficial das soluções (WANG *et al.*, 2018; ZANG *et al.*, 2021). Zang *et al.* (2021) relataram que o modo de polimerização pode variar, e essa variação na polimerização pode afetar a diminuição da tensão superficial de maneiras distintas, para cada tipo de produto.

Os adjuvantes a base de polímero tem alta capacidade de reduzir o ângulo de contato como observado nesta pesquisa e relatado por Zhao *et al.* (2022). As concentrações dos surfactantes existentes nos adjuvantes, podem ser os responsáveis pelas reduções do ângulo de contato. Quando a concentração do surfactante no adjuvante aumenta de 0,001 para 0,1%, maior é a redução do ângulo de contato. Por outro lado, pode haver pouca ou nenhuma alteração no ângulo de contato quando a concentração micelar crítica é atingida (AZEVEDO, 2011).

4.0 CONCLUSÃO

Os componentes ou ingredientes que compõem os adjuvantes afetam as propriedades físico-químicas de maneiras distintas. Isso pode contribuir em uma seleção razoável para aplicação de todo o tipo de pesticida. Contudo, o adjuvante à base de polímero mostrou-se como um maior redutor da tensão superficial, condutividade elétrica e ângulo de contato, podendo assim, melhorar a penetrabilidade e dispersão das caldas na planta.

REFERÊNCIAS

ASAE S572.3. Approved March 2009; reaffirmed January 2014 as an American National Standard Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. v. 2009, p. 1–6, 2020.

AZEVEDO, Luís Antônio Siqueira. Adjuvantes Agrícolas para proteção de Plantas. ed 1. Imos gráfica editora. Rio de Janeiro, 2011.

CARVALHO, Fernando Kassis *et al.* Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection** v. 101, p. 19–23, 2017.

CONTIERO, Robinson Luiz; BIFFE, Denis Fernando; CATAPAN, Valdenir. **Tecnologia de Aplicação**. [S.l: s.n.], 2018.

CRISTIMIANO, José; MATIAS, João Paulo; NAIARA, Jéssica. Espectro de gotas produzidas com diferentes concentrações de calda e pontas de pulverização. 2019.

CUNHA, João, Paulo, Arantes, Rodrigues; ALVES, Guilherme Sousa; MARQUES, Rodrigo Santos. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciencia Agronomica** v. 48, n. 2, p. 261–270, 2017.

DAMAK, Maher *et al.* Enhancing droplet deposition through in-situ precipitation. **Nature Communications** v. 7, p. 1–9, 2016.

ELLIS, M. C. Butler; 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* v. 180, n. 3, p. 267–276, 2001.

FERREIRA, Pedro Henrique Urach *et al.* Physicochemical properties, droplet size and volatility of dicamba with herbicides and adjuvants on tank-mixture. **Scientific Reports** v. 10, n. 1, p. 18833, 2020.

FRITZ, Bradley K.; HOFFMANN, W. Clint; HENRY, Ryan S. The effect of adjuvants at high spray pressures for aerial applications. **ASTM Special Technical Publication** v. STP 1595, p. 133–148, 2016.

GAO, Yue *et al.* Wetting and adhesion behavior on apple tree leaf surface by adding different surfactants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* v. 187, n. June 2019, p. 110602, 2020.

GAO, Xueqing *et al.* Effect of Adjuvants on the Wetting Behaviors of Bifenthrin Droplets on Tea Leaves. **Applied Sciences (Switzerland)** v. 12, n. 9, 2022.

GUICHERIT, R., BAKKER, D. J., DE VOOGT, P., VAN DEN BERG, F., VAN DIJK, H. F. G., & VAN PUL, W. A. J. Environmental Risk Assessment for Pesticides in the Atmosphere. n. the Results of an International Workshop; 1999.

HE, Yong *et al.* Influence of multiple factors on the wettability and surface free energy of leaf surface. **Applied Sciences (Switzerland)** v. 9, n. 3, 2019.

KATZMAN, Doron; BOHBOT-RAVIV, Yardena; DUBOWSKI, Yael. Does polyacrylamide-based adjuvant actually reduce primary drift of airborne pesticides? **Science of the Total Environment** v. 775, p. 145816, 2021.

KISSMANN, Kurt Gottfried. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos. 1998

LIU, Qi *et al.* Evaluation of Liquid Atomization and Spray Drift Reduction of Hydraulic Nozzles with Four Spray Adjuvant Solutions. **Agriculture (Switzerland)** v. 13, n. 2, 2023.

MACHADO, Willian A *et al.* Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola** v. 39, n. 1, p. 83–88, 2019.

MARUBAYASHI, Rodrigo Y.P. *et al.* Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 25, n. 4, p. 282–287, 2021.

MILANOWSKI, Marek *et al.* Effect of Adjuvant, Concentration and Water Type on the Droplet Size Characteristics in Agricultural Nozzles. **Applied Sciences** v. 12, n. 12, p. 5821, 2022.

MORAES, Eder D. *et al.* Potential risk of drift from inclined fan nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 23, n. 3, p. 229–233, 2019.

OLIVEIRA, Rone B.; ANTUNIASSI, Ulisses R.; GANDOLFO, Marco A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola** v. 35, n. 1, p. 109–116, 2015.

PETTER, Fabiano André *et al.* Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. v. 4, n. 2, p. 129–138, 2013.

POLLI, Estefania Gomiero *et al.* Physical–chemical properties, droplet size, and efficacy of dicamba plus glyphosate tank mixture influenced by adjuvants. **Agronomy** v. 11, n. 7, 2021.

RIBEIRO, Rogério Philipe Martins *et al.* Compatibilidade físico-química de caldas fungicidas e adjuvantes. **Scientific Electronic Archives** v. 14, n. 5, p. 35–41, 2021.

SANTOS, Cicero Antônio Mariano Dos *et al.* Effect of addition of adjuvants on physical and chemical characteristics of Bt bioinsecticide mixture. **Scientific Reports** v. 9, n. 1, p. 1–8, 2019.

SCHAMPHELEIRE, Mieke *et al.* Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture** v. 10, n. 5, p. 409–420, 2009.

SIJS, Rick; BONN, Daniel. The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. **Pest Management Science** v. 76, n. 10, p. 3487–3494, 2020.

STOCK, DAVID; BRIGGS, GEOFF. Physicochemical Properties of Adjuvants: Values and Applications 1. **Weed Technology** v. 14, n. 4, p. 798–806, 2000.

TAVARES, Rafael Marcão; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues Da. Pesticide and Adjuvant Mixture Impacts on the Physical–Chemical Properties, Droplet Spectrum, and Absorption of Spray Applied in Soybean Crop. **AgriEngineering** v. 5, n. 1, p. 646–659, 2023.

TORRENT, Xavier *et al.* Determination of spray drift and buffer zones in 3D crops using the ISO standard and new LiDAR methodologies. **Science of the Total Environment** v. 714, p. 136666, 2020.

TUDI, Muyesaier *et al.* Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. [S.l: s.n.]. 2021

WANG, Shi Lin *et al.* Effects of xanthan gum on atomization and deposition characteristics in water and silwet 408 aqueous solution. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** v. 11, n. 3, p. 29–34, 2018.

ZANG, Yu *et al.* Optimization of aviation adjuvants based on wettability analysis for insecticide application on maize using uav. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** v. 14, n. 5, p. 11–18, 2021.

ZHANG, Xiaoguang; XIONG, Lixia. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* v. 619, n. 94, p. 126557, 2021.

ZHAO, Rui *et al.* Effects of tank-mix adjuvants on physicochemical properties and dosage delivery at low dilution ratios for unmanned aerial vehicle application in paddy fields. **Pest Management Science** v. 78, n. 4, p. 1582–1593, 2022.

ZHONG, Yuan *et al.* Efficacy of Two Tank-Mix Adjuvants to Control Mango Thrips Using a UAV Sprayer. **Agriculture** v. 13, n. 9, p. 1805 , 2023.

CAPÍTULO II:

Espectro de gotas de soluções de adjuvantes, avaliados sob diferentes pressões de aplicação

Resumo

Durante a atomização de caldas de pesticidas, diversos fatores podem interferir no depósito da calda ao alvo. Uns dos fatores que podem ser destacados para melhorar o depósito são os adjuvantes, e a pressão de pulverização. Estes fatores podem influenciar no tamanho da gota. Entender o funcionamento dos adjuvantes e a pressão pode melhorar a qualidade de aplicação. Com o objetivo de avaliar como o efeito da pressão de trabalho e diferentes adjuvantes afetam a qualidade de aplicação, foi realizado um experimento em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 9x5 (soluções e pressões). Oito soluções de adjuvantes comerciais e um testemunha (água), foram testados através da ponta de pulverização do tipo leque plano simples AXI 100-03, nas pressões de 100, 200, 300, 400 e 500 kPa. Em um analisador de partículas por difração a laser, foram avaliados o diâmetro mediano volumétrico, amplitude relativa e porcentagem de volume de gotas <100 e > 500 μm . O diâmetro mediano volumétrico aumentou em 69,17-31,15%, 56,09-45,64%, 48,45-36,25%, 34,84-24,88%, 18,02-11,76%, para os adjuvantes Assist, Aureo, ADMAX, Disperse-ultra, Agefix, respetivamente, quando comparados com a água. Apesar de que em termos percentuais o diâmetro mediano volumétrico aumentou para Agral, Silicon SG, BREAK-THRU, Agefix manteve-se igual estatisticamente e sem mudança na classe de gotas igual a água em todas as pressões, exceto na pressão de 200 kPa para o Agefix. Houve redução do diâmetro mediano volumétrico para os adjuvantes estudados, a medida em que a pressão era aumentada de 100 a 500 kPa. A amplitude relativa das gotas aumentou quando a pressão era aumentada. Nas pressões de 100 a 500 kPa a porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm variou entre 1 a 27%, e a porcentagem de gotas maior que 500 μm variou entre 30 à 2,5%. Quando a pressão era aumentada, a porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm aumentava e a porcentagem de volume de gotas maior que 500 μm reduzia. Entre os adjuvantes, Agral, Silicon SG, BREAK-THRU e Agefix, tiveram as maiores porcentagens de gotas menores que 100 μm . Contudo, observou-se que nem todos os adjuvantes melhoram o espectro de gotas.

Palavras-chave: Adjuvantes; Pressão de pulverização; Diâmetro mediano volumétrico; Tecnologia de aplicação de defensivos.

1.0 INTRODUÇÃO

O espectro de gotas afeta a eficiência e a qualidade da aplicação de pesticidas na agricultura. Existem vários fatores que podem afetar o espectro de gotas, dos quais podem destacar-se a pressão de trabalho, o tipo de calda aplicada, tipo de ponta de pulverização e a metodologia de aplicação. Um dos aspectos considerados importante no espectro, é o tamanho das gotas (CERRUTO *et al.*, 2022; JOMANTAS *et al.*, 2023; MILANOWSKI *et al.*, 2022; TORRENT *et al.*, 2020; ZHANG; XIONG, 2021).

Durante o processo de atomização, são formadas gotas de tamanhos e massas diferentes. As gotas extremamente finas, finas e muito finas, podem cobrir maior área na planta. Entretanto, essas gotas possuem menor massa. Gotas com menor massa podem facilmente ser transportadas pelo vento para locais fora do alvo (deriva) (MACHADO *et al.*, 2019, MAKHNENKO *et al.*, 2021). Assim, a deriva e a distribuição de gotas com tamanho diferente afetam a qualidade de aplicação de pesticidas (CHEN *et al.*, 2022). Portanto, técnicas e tecnologias têm sido introduzidas para reduzir a deriva e melhorar a qualidade da aplicação.

Uma das estratégias para reduzir a deriva é o aumento do tamanho das gotas. Quanto maior for a gota, maior é a chance de não ser transportadas pelo vento, minimizando assim a deriva. No entanto, gotas grossas podem aumentar o risco de escorrimento e interferir na qualidade da aplicação. Portanto, reduzir ou aumentar o tamanho da gota, pode depender da pressão de trabalho utilizada e a dinâmica dos adjuvantes (LAN *et al.*, 2008; MILANOWSKI *et al.*, 2022).

Os adjuvantes podem modificar as características físico-químicas da calda, aumentando ou reduzindo, o diâmetro da mediana volumétrica ($D_{v0.5}$), alterando a amplitude relativa e a porcentagem de volume de gotas menor que 100 ou maior que 500 μm (KATZMAN; BOHBOT-RAVIV; DUBOWSKI, 2021; POLLI *et al.*, 2021; ZHANG; XIONG, 2021). O $D_{v0.5}$ afeta a cobertura na planta, ou seja, a porcentagem de cobertura das gotas na planta, diminui com o aumento do $D_{v0.5}$ (SHAN *et al.*, 2021). Reduzir o risco de perda de caldas e maximizar o depósito no alvo, pode contribuir na minimização dos riscos de contaminação ambiental e melhorar o controle fitossanitário (LODWIK; PIETRZYK; MALESA, 2020; MILANOWSKI *et al.*, 2022; SIJS, RICK; BONN, 2020).

Apesar de existirem vários adjuvantes disponíveis para uso em caldas de pesticidas, verifica-se pouca informação acerca da sua dinâmica (ITMEÇ *et al.*, 2022; KISSMANN, 1998;

LAN *et al.*, 2008, ZHAO *et al.*, 2022). Katzman, Bohbot-raviv e Dubowski (2021) estudaram como o adjuvante a base de poliacrilaminada influenciava na redução de dispersão primária de pesticidas, observaram que as soluções contendo adjuvante aumentaram o tamanho das gotas, mas também aumentaram a porcentagem de gotas finas. Wang *et al.* (2022) observaram que os adjuvantes a base de polímeros produziam $D_{v0.5}$ menor que o tratamento com aplicação de água, e a amplitude relativa não foi influenciada pelos adjuvantes.

Polli *et al.* (2021) verificaram diminuição do $D_{v0.5}$ das gotas de caldas contendo adjuvante (surfactante não iônico, e umectante não iônico) quando comparado com a solução sem adição do adjuvante. Samples *et al.* (2021) indicaram não haver diferenças no $D_{v0.5}$ quando o adjuvante a base de óleo foi adicionado à mistura de herbicidas, mas melhorou a amplitude relativa igual a adição do adjuvante a base de polímero.

Estudos de Katzman, Bohbot-raviv e Dubowski (2021); Wang *et al.* (2022); Polli *et al.* (2021) e Samples *et al.* (2021) , indicaram ampla variação do efeito dos adjuvantes no espectro de gotas, tornando-se importante e necessário a melhoria da compreensão da dinâmica e utilização dos adjuvantes e sua interação com a pressão de pulverização, para maximizar a eficiência e sustentabilidade. Neste contexto, objetivou-se, avaliar como o efeito da pressão de trabalho e diferentes adjuvantes afetam o espectro de gotas.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. O estudo foi conduzido em esquema fatorial 9x5 no delineamento inteiramente casualizado (DIC), totalizando 45 tratamentos. Cada tratamento teve 5 repetições, constituindo 225 unidades experimentais. Os fatores de estudo eram constituídos por oito Adjuvantes + testemunha (água) e cinco pressões de trabalho. Os adjuvantes utilizados foram: Disperse ultra (Ubyfol), Agral (Syngenta), Silicon SG (Sysgrow), BREAK-THRU (Evonik), ADMAX (Multiprime), Agefix (Agecom), Assist (BASF), Aureo (Bayer).

Foi utilizado a ponta de pulverização do tipo leque plano simples AXI 11003 (Jacto, Pompéia, São Paulo, Brasil) que produz gotas médias na pressão nominal de 300 kPa, de acordo com o catálogo do fabricante. A ponta de pulverização foi utilizada nas pressões de 100, 200, 300, 400 e 500 kPa. As pressões de trabalho selecionadas são muito utilizadas em tecnologia de aplicação de pesticidas, e satisfazem as operações de proteção de plantas (YANG *et al.*, 2022). Para avaliar a qualidade da ponta, realizou-se um teste de vazão na pressão nominal de 300 kPa, conforme indicado pela norma ISO 10625 (2017), resultando em uma vazão de 3,3% a mais que a nominal e um coeficiente de variação de 0,71%.

2.1 Condições do ensaio

Os adjuvantes foram misturados com água, na dose máxima recomendada pelos fabricantes, tendo como base o volume de 100 L (Tabela-2). Foram considerados 5 minutos de agitação constante, para homogeneização da mistura. O sistema de pulverização, era composto por uma bomba hidráulica (marca WEG) de 3 cilindros com capacidade de 1,47 kW. Após a aplicação era feita a limpeza das mangueiras de sucção e retorno com água e sabão neutro, para eliminar o risco de reações entre os diferentes tipos de adjuvantes.

Durante a realização do experimento, foram mensurados a temperatura ambiente, a umidade relativa, e a temperatura das soluções. A medição da temperatura ambiente e umidade relativa foi realizada com um Termo higrômetro digital portátil HT300 (Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda) com precisão de $\pm 0,1$ ° C e $\pm 1\%$ para temperatura e umidade, respectivamente.

Tabela 4-Adjuvantes e doses usadas no experimento

Adjuvante	Dose % (v v⁻¹)
Disperse ultra	0,04
Agral	0,05
Silicon SG	0,20
BREAK-THRU	0,10
AD Max	0,05
Agefix	1,00
Assist	1,00
Aureo	0,50

Fonte: autor (2023).

2.1.1 Medição do Espectro de gotas

Foi utilizado o analisador de partículas por difração a laser (Malvern instruments Ltd, modelo Spraytec) para medir o espectro de gotas de acordo com a metodologia proposta pela ASAE S572.3 (2020). O analisador, possuía lentes focais de 750 mm, e era capaz de realizar leituras de gotas com 2 a 2000 µm em cada avaliação (SIJS, R *et al.*, 2021). O analisador de partículas, media a distribuição das partículas em 5 segundos e calculava a média dos resultados.

Uma barra de pulverização foi instalada na bancada no analisador de partículas, de forma que a ponta de pulverização projetasse o jato no centro do feixe do laser. A ponta de pulverização foi posicionada a uma distância de 0,3 m do ponto de medição do laser (ASAE S572.3, 2020). Foram avaliados os parâmetros: $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, %V<100 µm, %V>500 µm, e a amplitude relativa (AR).

Os $D_{v.01}$, $D_{v0.9}$, representam o tamanho da gota em que 10 e 90% do volume de pulverização é composto por gotas de tamanho menor ou igual. A % V<100 µm, representa a porcentagem de gotas muito finas com o potencial risco de deriva, e a % V>500 µm a fração de gotas suscetíveis a escoar. A amplitude relativa (AR), representa a homogeneidade das gotas atomizadas. Quanto menor a AR, mais homogêneo é o tamanho das gotas, e é calculado de acordo com a equação 1 (BUTTS *et al.*, 2019; POLLI *et al.*, 2021).

$$AR = \frac{(Dv0.9 - Dv0.1)}{Dv0.5} \quad (1)$$

2.2 Tratamento de dados e Análise estatística

Os parâmetros do espectro de gotas dos adjuvantes, foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Aplicaram-se comparações múltiplas a 5% de probabilidade pelo teste de tukey para os fatores qualitativos (adjuvantes), e os dados das pressões foram submetidos a análise de regressão e determinação da significância dos seus coeficientes angulares pelo teste t ao mesmo nível de probabilidade.

Determinaram-se a classe de gotas, utilizando as pontas padrões da Tejeet (TP11001-SS, TP11003 SS, TP11006 SS, TP8008-SS) de acordo com as especificações da ASABE S.573.3. A partir da classe de gotas obtida pelas pontas de referência, classificaram-se os $D_{v0.5}$ dos adjuvantes testados nesta pesquisa. Para entender melhor a relação entre as variáveis avaliadas, realizou-se a análise de componentes principais (PCA). Os parâmetros relacionados ao espectro de gotas foram considerados apenas a pressão nominal de 300 kPa.

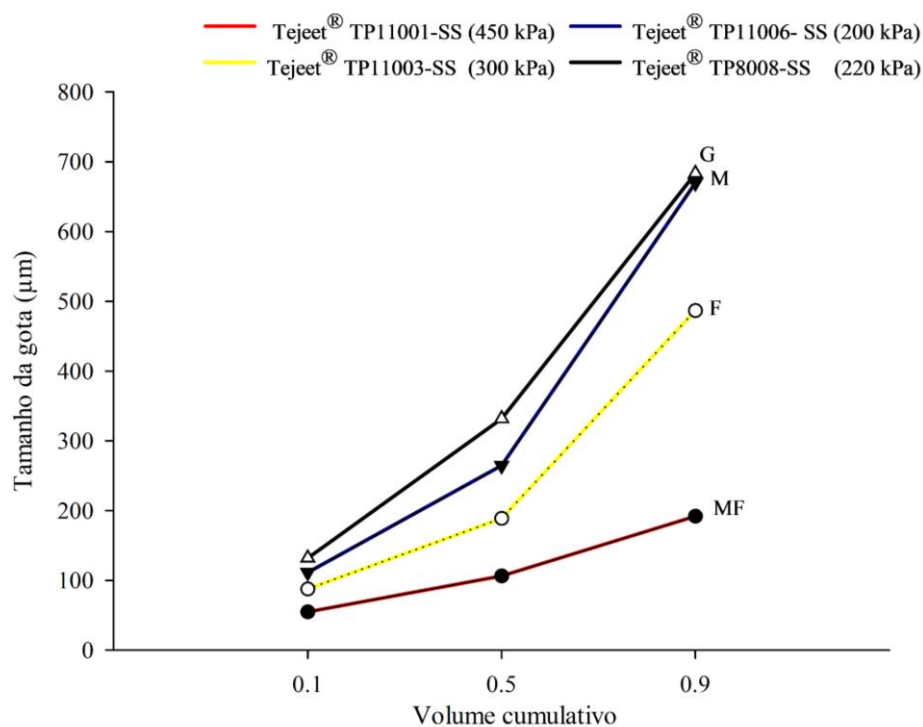
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

3.1.1 Efeito dos Adjuvantes e Pressão no Espectro de Gotas e Amplitude Relativa

A análise de variância (apêndice B), indicou interação entre os fatores estudados (adjuvantes e pressão) e efeitos significativos em cada um dos fatores em relação as variáveis ($D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$, $D_{v0.9}$, AR, $\%V < 100$ e $\%V > 500$ μm). Os resultados do $D_{v0.5}$, classificados de acordo com as recomendações da ASABE S.573.3 (Figura-6).

Figura 6: Diâmetros volumétricos das pontas padrão



MF-muito fina, F-fina, M-média, G-grossa. Fonte: Autor (2023).

Observou-se que o $D_{v0.5}$, foi afetado em função do tipo de adjuvante. Os adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist e Disperse ultra, apresentaram maiores valores de $D_{v0.5}$. Estes adjuvantes, diferiram significativamente quando comparados com água a todas as pressões estudadas. Por outro lado, os adjuvantes Agral, Silicon SG, BREAK-THRU não diferiram significativamente entre si e em relação a água nas pressões de 100 e 200 kPa (Tabela-5).

Os adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist, Disperse Ultra apresentaram classe de gotas grossas a 100 kPa. Além do mais, observaram-se diferenças estatisticamente significativas

entre o Aureo e Assist, na pressão de 100 kPa, e bem como entre Aureo-Disperse Ultra nas pressões de 100, 200, 400 e 500 kPa. Apesar da diferença estatística, percebeu-se que o tamanho da gota apenas diferiu nas pressões de 400 e 500 kPa, tendo sido observado gotas médias e finas, respectivamente. Na pressão de 200 kPa, Assist apresentou gota grossa, tendo se destacado em relação a todos outros adjuvantes avaliados. Por outro lado, os adjuvantes Aureo, ADMAX, Disperse Ultra e Agefix apresentaram gotas médias, e os adjuvantes Silicon SG, BREAK-THRU e Agral não foram significativos em relação à água e apresentaram gotas finas (Tabela-5).

O Agefix indicou diferenças significativas em relação à água em todas as pressões, exceto a 200 kPa, com uma média de 227,7 e água com média de 192,92 μm . Apesar de não diferir estatisticamente com água, obteve-se diferenças no tamanho de gotas, tendo apresentado gotas médias para o Agefix e finas para água (Tabela-5).

Tabela 5 – Classificação do tamanho de gotas

Pressão (kPa)	D_{v0.5} dos Adjuvantes								
	Aureo	ADMAX	Assist	Disperse Ultra	Agefix	Silicon SG	BREAK-THRU	Agral	Água
100	397,04 a*	365,24 b*	336,10 c*	331,70 c*	286,42d*	251,18 e ^{ns}	235,72 e ^{ns}	263,26 e ^{ns}	256,28
200	296,12 b*	286,38 b*	326,36 a*	258,90 c*	227,7 d ^{ns}	196,24 e ^{ns}	183,10 e ^{ns}	203,32 e ^{ns}	192,92
300	266,20 a*	255,76 a*	242,12 b*	233,22 b*	198,94c*	181,38 d ^{ns}	171,04 d ^{ns}	205,24 c*	172,96
400	256,46 a*	239,92 a*	231,10 b*	216,02 b*	192,6 c*	171,6 c ^{ns}	176,22 c*	180,00 c*	164,30
500	239,96 a*	224,48 b*	220,92 b*	205,76 b*	186,8 c*	167,6 c ^{ns}	177,14 c*	162,78 c ^{ns}	164,76

Tamanho de gota Classificado de acordo com ASABE S572.3 (2020)

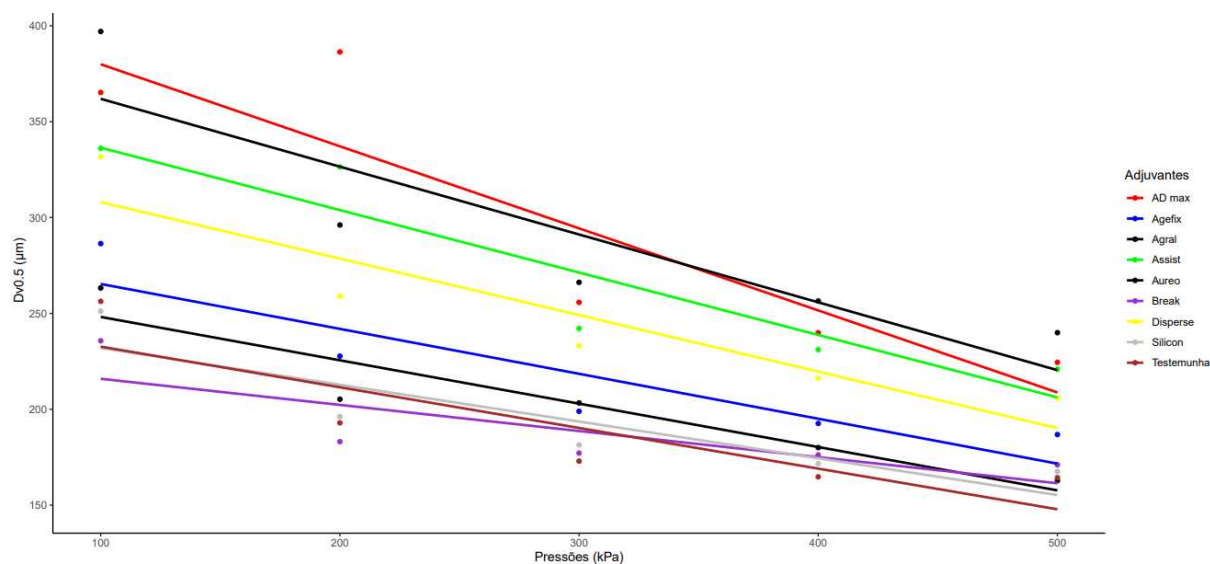
Pressão (kPa)	Aureo	ADMAX	Assist	Disperse Ultra	Agefix	Silicon SG	BREAK-THRU	Agral	Água
100	MG	MG	MG	MG	G	M	M	M	M
200	G	G	MG	M	M	M	F	M	M
300	G	M	M	M	M	F	F	M	F
400	M	M	M	M	M	F	F	F	F
500	M	M	M	M	F	F	F	F	F

Adjuvantes com a mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott not, ns e * representam não significativo e significativo na coluna, em relação à água pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. MG-muito grossa, G-grossa, M-média, F-fina. Fonte: Autor (2023).

O efeito da pressão no D_{v0.5} em cada um dos adjuvantes foi analisado. A pressão teve interação significativa com os adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist, Disperse ultra, Agefix, Silicon SG, e Agral. Houve redução do D_{v0.5} quando a pressão aumentava (Figura-7). Pela Figura 7, observa-se que o ADMAX apresentou a maior taxa de redução (0,428) de acordo com o aumento de uma unidade de pressão, enquanto o Agral indicou a menor redução (0,226), a

cada unidade de aumento da pressão. A pressão não teve efeitos significativos no $D_{v0.5}$ do adjuvante BREAK-THRU e a água (Figura - 7).

Figura 7 - Modelos ajustados para descrever o comportamento do $D_{v0.5}$ em função da pressão, sendo utilizado em $y=ax+b$.



Parâmetros	Água	Disperse Ultra	Agral	Silicon SG	BREAK-THRU	ADMAX	Agefix	Assist	Aureo
a	-0,212 ^{ns}	-0,295*	-0,226*	-0,267*	-0,136 ^{ns}	-0,428*	-0,234*	-0,326*	-0,345*
b	253,88	337,55	270,78	313,41	229,52	422,75	288,79	369,01	397,30
p.valor	0,0572	0,0241	0,0172	0,0423	0,098	0,0397	0,0365	0,0215	0,041
r²	0,75	0,86	0,89	0,79	0,65	0,80	0,81	0,87	0,80

^{ns}: não significativo pelo teste t a 5% de significância; * significativo, a: coeficiente angular da reta; b: constante. Fonte: autor (2023).

Embora para o Aureo não foram observadas mudanças na classe de tamanho da gota quando a pressão foi aumentada de 400 a 500 kPa, verificou-se aumento do $D_{v0.9}$. Também, o Assist aumentou o $D_{v0.9}$ de 100 a 200 kPa (Tabela- 6).

Tabela 6: Valores médios do $D_{v0.9}$ dos adjuvantes testados

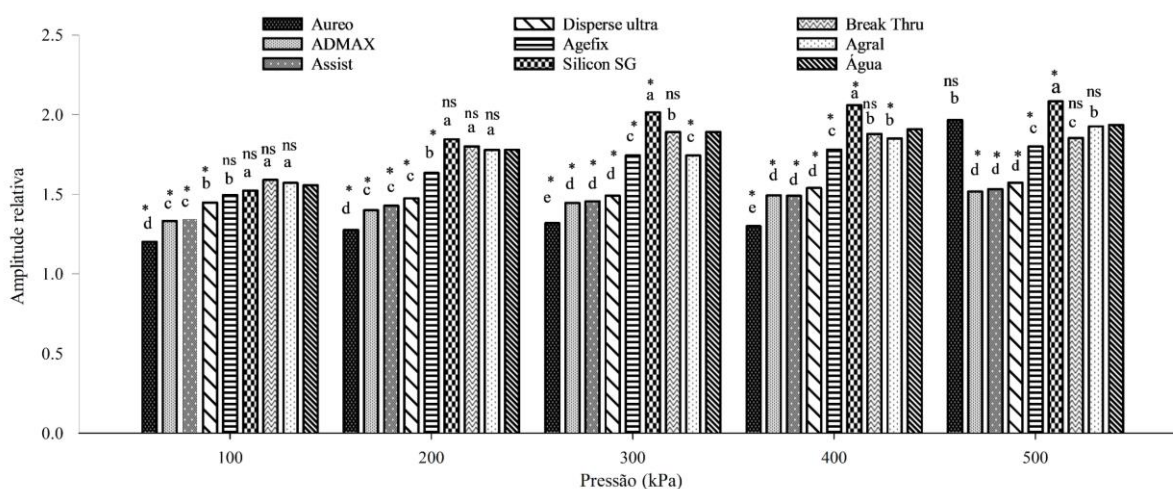
Pressão (kPa)	$D_{v0.9}$ de Adjuvantes									
	Água	Disperse ultra	Agral	Silicon SG	BREAK-THRU	ADMAX	Agefix	Assist	Aureo	
100	496,56	619 b	515,56c	484,96c	476,56c	660,06a	540,34c	606,06b	684,26a	
200	418,16	488,36b	360,20d	439,74c	407,26c	527,94b	460,08c	618,76a	519,00b	
300	398,44	442,86a	432,48a	432,4a	391,74b	473,92a	421,08b	451,48a	471,70a	
400	374,42	417,48 a	400,00a	395,84a	395,84a	451,38a	412,84a	434,84a	450,72a	
500	377,08	401,60b	373,58b	390,22b	390,22b	426,28b	401,08b	422,96b	556,74a	

Adjuvantes com a mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott not, ns e * representam não significativo e significativo na coluna, em relação à água pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

Houve efeito significativo da interação pressão e adjuvante na variável homogeneidade das gotas (AR) aspergidas por cada adjuvante (Apêndice B. Tabela-7). Pelos resultados obtidos no $D_{v0.5}$, percebeu-se que não se pode generalizar o efeito da pressão sobre o AR. O adjuvante Aureo, foi o que indicou valores de AR menores para todas as pressões, exceto a 500 kPa (Figura-9). Portanto, o Aureo indicou menor variabilidade do espectro de gotas nas pressões de 100, 200, 300 e 400 kPa entre os adjuvantes estudados. Os adjuvantes ADMAX (1,52), Assist (1,53), Disperse Ultra (1,57) indicaram menores valores de AR a 500 kPa. No entanto, observou-se que o adjuvante Disperse Ultra, não apresentou diferenças significativas com os adjuvantes Agefix, Silicon SG, BREAK-THRU, Agral e água à 100 kPa. O adjuvante Agral diferiu da água (1,89) na pressão de 300 kPa.

Os adjuvantes, Agefix, Silicon SG, BREAK-THRU e Agral indicaram menor homogeneidade, sendo similares a água na pressão de 100 kPa. No entanto, Agefix indicou maior homogeneidade em relação à testemunha nas outras pressões estudadas. O adjuvante Silicon SG, diferiu significativamente nas pressões de 300,400 e 500 kPa com valores de 2,01, 2,06, 2,08, respectivamente, em comparação com água (1,89, 1,91, 1,94). Além disso, foram observadas diferenças estatísticas na pressão de 300 kPa, para o adjuvante Agral em comparação com água (Figura-8).

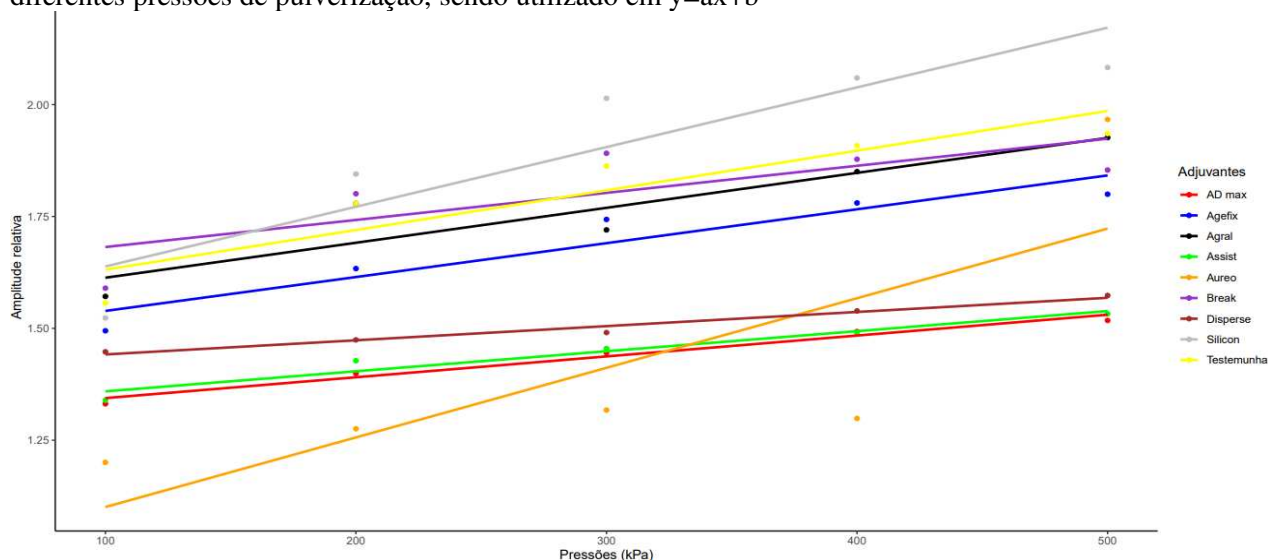
Figura 8 - Amplitude relativa dos adjuvantes testados



Adjuvantes com a mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott not, ns e * representam não significativo e significativo na coluna, em relação à água pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

Com o aumento da pressão, todos adjuvantes apresentaram aumento da amplitude relativa. As soluções dos adjuvantes Disperse ultra, Assist, ADMAX, e BREAK-THRU apresentaram menos variação do AR a cada unidade do aumento da pressão (Figura-10).

Figura 9 - Modelos ajustados para descrever o comportamento da AR dos adjuvantes em função de diferentes pressões de pulverização, sendo utilizado em $y=ax+b$



Parâmetros	Água	Disperse Ultra	Agral	Silicon SG	BREAK-THRU	ADMAX	Agefix	Assist	Aureo
a	0,0009*	0,0003*	0,0008*	0,0013*	0,0006*	0,0005*	0,0008*	0,0004*	0,0016*
b	1,54	1,41	1,54	1,40	1,62	1,30	1,46	1,31	0,95
p.valor	0,0277	0,0018	0,0293	0,0340	0,0012	0,0016	0,0016	0,0046	0,0011
r²	0,84	0,97	0,84	0,82	0,60	0,98	0,89	0,95	0,62

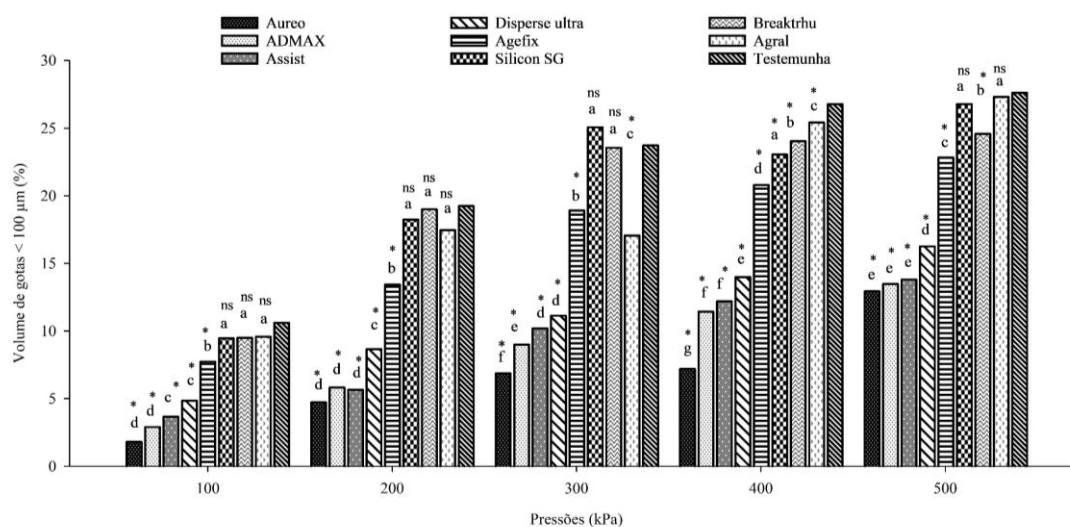
ns: não significativo pelo teste T a 5% de significância; * significativo, a: coeficiente angular da reta; b : constante. Fonte: Autor (2023)

3.1.2 Efeito dos adjuvantes e pressão na porcentagem de gotas menor que 100 e maior que 500 μm

O efeito dos adjuvantes foi significativo na porcentagem de volume de gotas <100 e >500 μm (Apêndice B. Tabela-11). Observou-se que os adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist, Disperse Ultra, Agefix reduziram a porcentagem de gotas menores que 100 μm dentro de cada pressão avaliada, em comparação com água. Além disso, os adjuvantes Agral, Silicon SG e BREAK-THRU diferiram da água na pressão de 400 kPa. No entanto, entre os adjuvantes, o Aureo (7,19%) e ADMAX (11,42%) diferiram na pressão de 400 kPa, e nas pressões de 300 e 400 kPa, o Assist (10,18%, 12,19%) diferiu do Aureo (6,86%, 7,19%). Em todos adjuvantes testados, as maiores porcentagens de gotas <100 μm obtiveram-se à 500 kPa, nos adjuvantes

Silicon SG e Agral (Figura-11). Os adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist, Disperse Ultra, apresentaram as maiores reduções de porcentagem de volume de gotas <100 μm . Os resultados podem ser considerados promissores na redução de perdas de produtos por deriva durante as aplicações.

Figura 10 - Porcentagem de volume de gotas menores que 100 μm



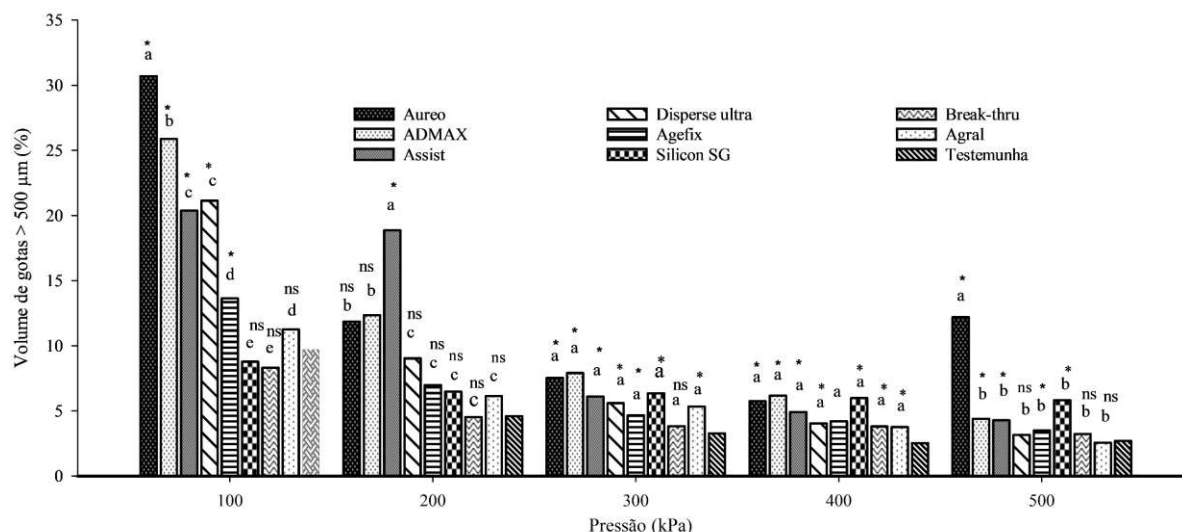
Adjuvantes com a mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott not, ns e * representam não significativo e significativo na coluna, em relação à água pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

Na porcentagem de volume de gotas >500 μm , foram observadas diferenças nos tratamentos com as soluções dos adjuvantes Aureo, ADMAX, Assist, Disperse Ultra e Agefix em relação a água, quando submetidos a pressão de 100 kPa. A pressão de 200 kPa o adjuvante Assist apresentou 18,87%, uma maior porcentagem de volume de gotas >500 μm , sendo significativamente diferente em relação à água. Nas pressões de 300 e 400 kPa, todos os adjuvantes foram significativamente diferentes da água, com exceção do BREAK-THRU a 300 kPa (Figura-12).

Entre os adjuvantes, o Aureo apresentou 30,68%, sendo a maior porcentagem de gotas >500 μm , e foi estatisticamente diferente em relação aos demais adjuvantes, exceto o ADMAX quando submetido à pressão de 100 kPa. No entanto, além do Aureo, os adjuvantes ADMAX, Assist, Disperse Ultra, registraram 25,87, 20,38 e 21,14 % de gotas > 500 μm , respectivamente a 100 kPa, diferindo estatisticamente dos adjuvantes Agefix, Silicon SG, BREAK-THRU e Agral que indicaram 13,65, 8,79, 8,33 e 11,27, respectivamente (Figura-12). Na pressão de 500 kPa, a porcentagem de volume de gotas do adjuvante Aureo foi de 12,21%, tendo se destacado

em relação aos demais, sendo estatisticamente significativo em relação aos demais adjuvantes com médias de 2,5 à 5,8%.

Figura 11 - Porcentagem de volume de gotas maior que 500 μm



Adjuvantes com letra igual na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott not, ns e * representam não significativo e significativo na coluna, em relação à água pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

A elevada porcentagem de volume de gotas $>500 \mu\text{m}$, pode constituir um indicativo de que estes adjuvantes podem ser suscetíveis ao escoamento. O escoamento de gotas é considerado um processo que pode diminuir a qualidade de aplicação de pesticidas (MILANOWSKI *et al.*, 2022).

A pressão teve efeito positivo na porcentagem de volume de gotas menor que $100 \mu\text{m}$, e efeito negativo na $\%V >500$. Isto é, quanto maior foi a pressão, maior foi a fragmentação das gotas maiores (Figura-13A e 13B). O aumento da porcentagem de volume de gotas menor que $100 \mu\text{m}$, pode aumentar a suscetibilidade à deriva das caldas.

Pela análise de regressão, as pressões de trabalho estudadas não tiveram efeito significativo apenas na solução com BREAK-THRU na porcentagem de volume de gotas $<100 \mu\text{m}$. Além disso, na porcentagem do volume de gotas $> 500 \mu\text{m}$, o efeito da pressão não foi significativo para os adjuvantes Aureo, Silicon SG, BREAK-THRU, e água (Tabela-3). O aumento de volume de gotas $< 100 \mu\text{m}$ pode indicar a suscetibilidade das soluções a deriva dos adjuvantes quando há um aumento de pressão.

Figura 12 - Modelos ajustados para descrever o comportamento da porcentagem de volume de gotas menor que 100 e maior que 500 μm em função da pressão, sendo utilizado em $y=ax+b$.

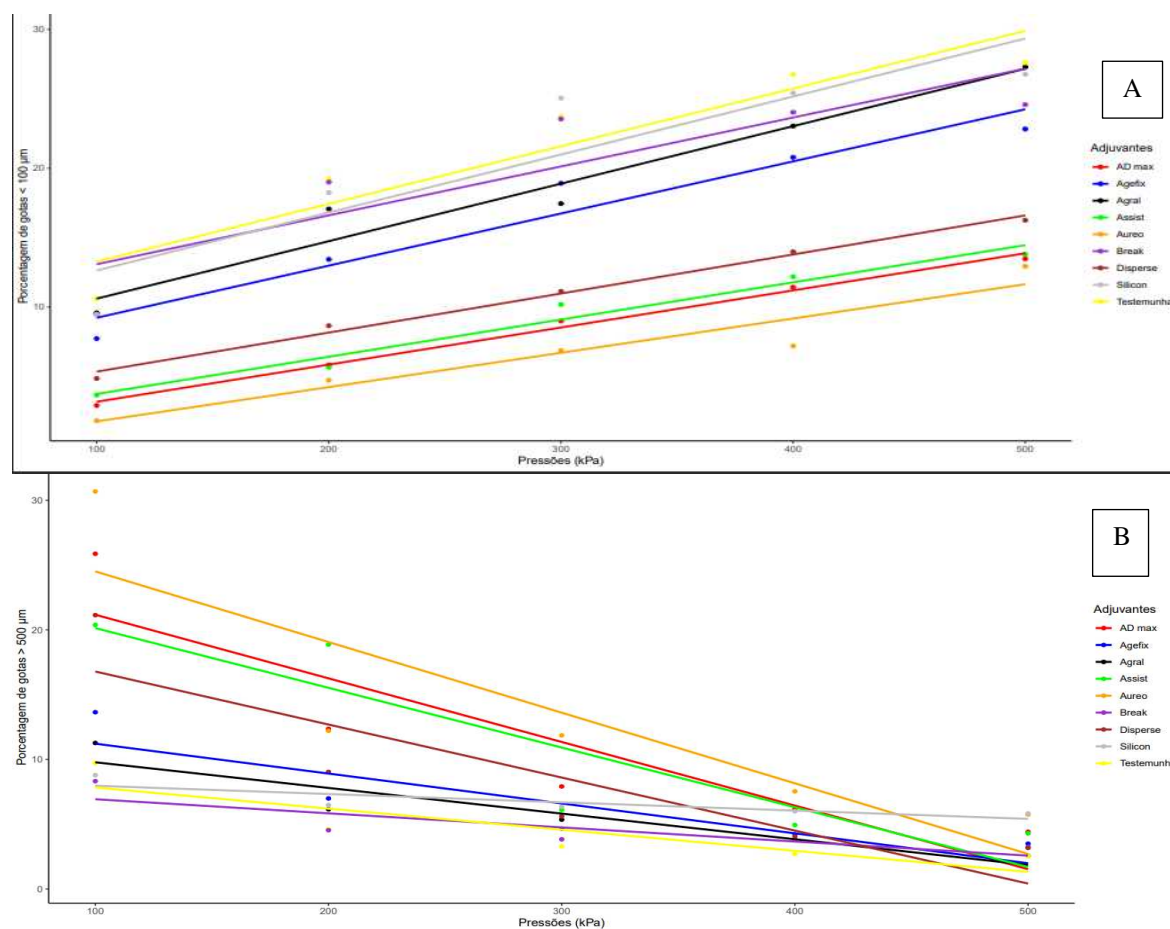


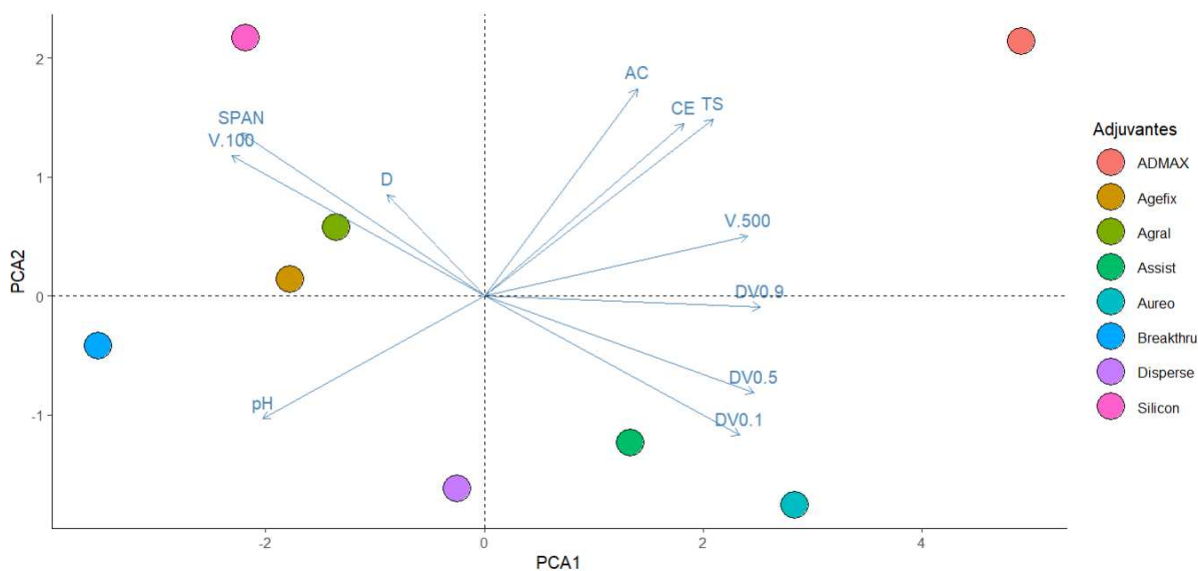
Tabela 7-Modelos preditos para descrever o comportamento da pressão no volume de gotas < 100 e > 500 μm nos adjuvantes testados, sendo definido em $y= ax+b$

% V < 100									
Parâmetros	água	Disperse Ultra	Agral	Silicon	SG BREAK- THRU	ADMAX	Agefix	Assist	Aureo
a	0,042*	0,028*	0,041*	0,034*	0,035 ^{ns}	0,0027*	0,038*	0,027*	0,025*
b	9,13	2,53	6,46	4,71	9,56	0,50	5,47	1,05	0,72
p. valor	0,016	0,0003	0,0044	0,0309	0,0508	0,0002	0,006	0,0024	0,0112
r ²	0,89	0,99	0,95	0,84	0,77	0,99	0,94	0,97	0,91
% V > 500									
a	-0,016 ^{ns}	-0,041*	-0,02*	-0,006 ^{ns}	-0,011 ^{ns}	-0,049*	-0,023*	-0,046*	-0,055 ^{ns}
b	9,462	20,88	11,76	8,61	8,02	26,08	13,52	24,71	29,97
p. valor	0,0622	0,05	0,0197	0,0738	0,0752	0,0381	0,0495	0,0309	0,0567
r ²	0,74	0,77	0,87	0,71	0,71	0,81	0,77	0,83	0,75

ns: não significativo pelo teste t a 5% de significância; * significativo, a: coeficiente angular da reta; b: constante. Fonte: autor (2023)

A partir da análise de componentes principais-PCA (Figura-14), observou-se que os adjuvantes Agefix- Agral e Assist - Aureo apresentaram comportamentos similares em relação as variáveis analisadas. Além disso, observou-se correlação positiva entre a condutividade elétrica e a tensão superficial, e os $D_{v0.1}$ e $D_{v0.5}$ estão estritamente relacionados. Apesar dos adjuvantes Aureo, Assist e ADMAX apresentarem maior $D_{v0.5}$ também tiveram maior $D_{v0.1}$ e $D_{v0.9}$. Além disso, estes adjuvantes apresentaram maiores valores de volume de gotas maior que 500 μm . Os adjuvantes Agefix, Agral, Silicon SG, BREAK-THRU apresentaram maior porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm e menor homogeneidade de gotas. Pela análise da correlação, observou-se que a densidade foi a variável menos pronunciável neste estudo (-0,3) (Apêndice B Tabela-12).

Figura 13 - Análise de componentes principais das propriedades físico-químicas e o espectro de gotas



Onde: D- densidade; pH-Potencial hidrogeniônico, AC- ângulo de contato, CE-condutividade elétrica; TS-tensão superficial; V.100 e V.500-volume de gotas com diâmetro menor que 100 e maior que 500 μm ; Fonte-Autor (2023).

3.2 DISCUSSÃO

Fritz, Hoffmann e Henry (2016) ao avaliarem o efeito dos adjuvantes em altas pressões de pulverização, observaram que os adjuvantes a base de óleo aumentavam o tamanho das gotas, enquanto os adjuvantes à base de Silicone e polímeros produziam gotas menores. Machado *et al.* (2019) indicaram diminuição do tamanho das gotas quando o adjuvante à base de Silicone foi aplicado. De acordo com Katzman, Bohbot-Raviv e Dubowski (2021) os adjuvantes à base de polímeros aumentaram o percentual de gotas finas, e não houve observação de mudança no $D_{v0.5}$ quando a pressão foi aumentada. Os polímeros, possuem alta coesão entre suas moléculas, o que confere alta estabilidade à sua desintegração, e dificulta a quebra das moléculas. Portanto, a estabilização do $D_{v0.5}$ do adjuvante a base de polímero foi observado nesta pesquisa. A estabilização do $D_{v0.5}$ dos adjuvantes à base de polímeros quando a pressão era aumentada também foi relatada por ÍTMEÇ *et al.*, (2022).

Segundo Milanowski *et al.* (2022) os adjuvantes à base de óleo alteram as gotas finas na faixa de $D_{v0.1}$ emulsificando o líquido com óleo, este processo aumenta o diâmetro e ajuda a estabilizar o $D_{v0.5}$. Este efeito pode ter permitido a estabilização dos adjuvantes à base de óleo desta pesquisa. No entanto, este processo pode variar em função das propriedades do tipo de óleo utilizado. O efeito do aumento do $D_{v0.5}$ das gotas de adjuvantes à base de óleo foi reportado por Makhnenko *et al.* (2021); Milanowski *et al.* (2022). A alteração e emulsificação das gotas, pode ter refletido na obtenção de redução da porcentagem de volume de gotas $< 100 \mu\text{m}$ quando comparado com outros adjuvantes e à água.

Os diferentes tipos de óleo podem comportar-se de formas diferentes, como mostram os resultados desta pesquisa. Para alguns pesquisadores, reduzir a tensão superficial de líquidos leva ao aumento do tamanho das gotas (ÍTMEÇ *et al.*, 2022). Nesta pesquisa, o efeito da redução da tensão superficial no aumento do tamanho das gotas não foi pronunciável, no entanto pode ser imprescindível considerar as outras características dos adjuvantes. Do mesmo jeito, alguns autores indicam que os adjuvantes aumentam a densidade das gotas e consequentemente o aumento do $D_{v0.5}$ (POLLI *et al.*, 2021). Pela análise de componentes principais observou-se que a densidade foi variável menos explicativa na variabilidade classificatória dos grupos dos adjuvantes. Este resultado, leva-nos a crer que alguns adjuvantes aumentam a superfície da gota através da emulsificação como indicado por MILANOWSKI *et al.*, (2022).

Li *et al.* (2022) em seu estudo com diferentes adjuvantes e pressões, observaram que o $D_{v0.5}$ das gotas decrescia gradualmente quando a pressão era aumentada. Altas pressões criam maiores taxas de cisalhamento do líquido e quebra, o que faz com que o $D_{v0.5}$ diminua. A redução do $D_{v0.5}$ pode aumentar a porcentagem de gotas com diâmetro menor que 100 μm . A porcentagem do aumento dessas gotas pode variar em função da composição do adjuvante. De acordo com Machado *et al.* (2019) as gotas finas possuem menor massa específica, por este motivo são suscetíveis à deriva e evaporação. No entanto, muitas vezes à deriva está associada a porcentagem de volume de gotas $< 100 \mu\text{m}$. O aumento das gotas menores que 100 μm , é desfavorável na sustentabilidade da tecnologia de aplicação de pesticidas.

Moraes *et al.* (2019) relataram que em tecnologia de aplicação de pesticidas agrícolas, porcentagens menores que 15% de gotas com diâmetro menor que 100 podem ser consideradas baixas, neste sentido, pelos resultados obtidos pode se dizer que alguns dos adjuvantes testados possuem poder de redução de porcentagem de gotas menor que 100 μm , que são suscetíveis a deriva.

O impacto dos surfactantes sobre as características das caldas é inconclusivo, mas de acordo com Makhnenko *et al.* (2021) os surfactantes não iônicos podem afetar a quebra do spray interferindo no tamanho das gotas. Este efeito pode ser atribuído à estabilização ou não da tensão superficial, dependendo do tipo de adjuvante e sua estrutura. Portanto, no presente estudo, o Agral e a água tiveram todos os parâmetros do espectro de gotas semelhantes, exceto a amplitude relativa (AR) e a porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm a 300 kPa. Apesar de não verificadas diferenças significativas no $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$ e $D_{v0.9}$ entre o Agral e água (Apêndice B), observou-se um ligeiro aumento numérico do $D_{v0.5}$ e $D_{v0.9}$ do agral na pressão de 300 kPa.

Observou-se distinta diminuição da tensão superficial entre os surfactantes. Isto é, o adjuvante surfactante organossiliconado com menor tensão superficial indicou maior tamanho de gota e o com maior tensão superficial indicou menor tamanho de gota. Apesar deste fato, Sijs, Rick e Bonn (2020) reportam que soluções contendo adjuvantes a base de surfactantes, a quebra do líquido comporta-se igual a água. Por um lado, pode ser que os redutores de espuma e os humectantes, existentes no Disperse Ultra contribuíram na melhoria do desempenho do espectro de gotas do adjuvante, como mencionado por Spanoghe *et al.*, (2007). Além disso, as propriedades e composição físico-química das substâncias que compõem os dois adjuvantes são bastante distintas. Por outro lado, Spanoghe *et al.* 2007 indicaram que quando os

surfactantes são adicionados em concentrações acima ou abaixo da concentração micelar crítica podem não ter algum impacto no aumento das gotas, porém a medida que a concentração atinge a faixa crítica micelar ocorre a reorganização das moléculas em micelas, isto pode ajudar no aumento do tamanho de gotas.

Para Zhang e Xiong (2021) alterar a tensão superficial das caldas pode ser um mecanismo que contribua para o aumento ou diminuição do tamanho das gotas. Porém, para Kooij *et al.* (2018) os surfactantes possuem dinâmica lenta das suas moléculas, sendo ineficazes para o efeito. Por isso, soluções com ou sem surfactantes podem apresentar mesmas características. Como foi observado nos adjuvantes Silicon SG e Agral, em relação à água (testemunha).

Na presente pesquisa observou-se que os adjuvantes Silicon SG, BREAK-THRU e Agral apresentaram resultados similares ao do tratamento testemunha, na maior parte de variáveis analisadas. Porém, Agral teve menor porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm e maior amplitude relativa a 300 kPa, quando comparado com água. O efeito da pressão na redução do $D_{v0.5}$ do Agral foi menor (0,226), e a pressão impactou no aumento da porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm quando comparado com outros adjuvantes, mas ainda assim menor que o tratamento com aplicação de água (testemunha).

O aumento do tamanho da gota com o aumento da densidade e redução da tensão superficial das caldas é bastante relatado, entretanto, nesta pesquisa observou-se que a densidade e a tensão superficial podem não ter uma simples relação com o aumento do tamanho da gota. Além disso, Polli *et al.* (2021) referem diminuição do tamanho de gota e aumento da densidade da calda quando alguns adjuvantes são adicionados a calda de herbicidas. Indicando assim a não correlação entre estas variáveis, como observado na presente pesquisa.

Chen *et al.* (2022) analisaram a homogeneidade do tamanho de gotas e seleção dos parâmetros de pulverizaram, observaram quebras precoces do líquido a pressões mais altas, e as gotas quebradas tiveram maior energia cinética. A elevada energia cinética pode causar maior agitação molecular e influenciar a distribuição das gotas. Este processo pode ter permitido o aumento da AR dos adjuvantes avaliados nesta pesquisa, quando a pressão de trabalho era aumentada. Além disso, para o adjuvante Aureo observou-se aumento 23,5% do $D_{v0.9}$ nas pressões de 400 a 500 kPa, este aumento pode ter influenciado a elevada amplitude relativa das gotas na pressão de 500 kPa.

O Adjuvante Agral, aumentou numericamente os $D_{v0.5}$ e $D_{v0.9}$ a 300 kPa, quando comparado água. Este aumento pode contribuir na redução da amplitude relativa das gotas na pressão especificada. Em geral, quanto maior foi a redução do $D_{v0.5}$, maior foi a dispersão das gotas, pode ser que o aumento da diferença dos $D_{v0.1}$ e $D_{v0.9}$ em relação ao $D_{v0.5}$ afetou a dispersão das gotas (Apêndice B, tabela-9 e 10). Valores de AR próximos a zero são os mais preferenciais, pois, indicam maior homogeneidade das gotas (MILANOWSKI *et al.*, 2022).

Vários autores , estudaram o impacto de adjuvantes poliméricos na homogeneização das gotas de pulverização (FRITZ; HOFFMANN; HENRY, 2016; KATZMAN; BOHBOT-RAVIV; DUBOWSKI, 2021; MACHADO *et al.*, 2019; SAMPLES *et al.*, 2021). Samples *et al.* (2021) observaram alta variabilidade do tamanho das gotas quando os adjuvantes à base de polímeros erram adicionados a calda de pulverização. A alta variabilidade indica valores de AR mais elevados, o que foi observado nos adjuvantes BREAK-THRU e Silicon SG. Apesar deste facto, Liu *et al.* (2021) em seu estudo relataram haver maior homogeneidade das gotas quando a pressão de trabalho era aumentada, estes resultados não corroboram com os obtidos na presente pesquisa.

Conhecer os ingredientes que compõem os adjuvantes é fundamental para compreender os seus efeitos e o seu modo de utilização. O facto de alguns dos fabricantes de adjuvantes, não fornecerem informações detalhadas sobre os seus produtos pode comprometer o entendimento da dinâmica dos adjuvantes, e até perigar a sustentabilidade da aplicação dos mesmos.

4.0 CONCLUSÃO

Em geral, o Aureo, ADMAX, Assist e Disperse Ultra aumentaram o tamanho de gotas, e quanto maior foi a pressão o tamanho das gotas reduzia e reduzia a homogeneidade das gotas, além disso aumentava a porcentagem de gotas menores que 100 μm e reduzia a porcentagem de gotas > 500 μm . Por outro lado, os adjuvantes BREAK-THRU e Silicon SG não melhoraram o espectro de gotas e a porcentagem de volume de gotas < 100 e > 500 μm .

REFERÊNCIAS

ASAE S572.3. Approved March 2009; reaffirmed January 2014 as an American National Standard Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. v. 2009, p. 1–6, 2005.

BUTTS, Thomas R. *et al.* Droplet size and nozzle tip pressure from a pulse-width modulation sprayer. **Biosystems Engineering** v. 178, p. 52–69, 2019.

CERRUTO, Emanuele *et al.* Effect of Image Segmentation Thresholding on Droplet Size Measurement. **Agronomy** v. 12, n. 7, 2022.

CHEN, Chongchong *et al.* Analysis of droplet size uniformity and selection of spray parameters based on the biological optimum particle size theory. **Environmental Research** v. 204, n. PB, p. 112076, 2022.

FRITZ, Bradley K.; HOFFMANN, W. Clint; HENRY, Ryan S. The effect of adjuvants at high spray pressures for aerial applications. **ASTM Special Technical Publication** v. STP 1595, p. 133–148, 2016.

ISO/DIS 10625. DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO / DIS 10625 Equipment for crop protection — Sprayer nozzles — Colour coding for identification. 2017.

İTMEÇ, Medet *et al.* Assessment of Spray Drift with Various Adjuvants in a Wind Tunnel. **Agronomy** v. 12, n. 10, p. 1–16, 2022.

JOMANTAS, Tadas *et al.* The Influence of Newly Developed Spray Drift Reduction Agents on Drift Mitigation by Means of Wind Tunnel and Field Evaluation Methods. **Agriculture (Switzerland)** v. 13, n. 2, 2023.

KATZMAN, Doron; BOHBOT-RAVIV, Yardena; DUBOWSKI, Yael. Does polyacrylamide-based adjuvant actually reduce primary drift of airborne pesticides? **Science of the Total Environment** v. 775, p. 145816, 2021.

KISSMANN, Kurt Gottfried. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários - Kissmann. Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos. [S.l: s.n.], 1998.

KOOIJ, Stefan *et al.* What Determines the Drop Size in Sprays? **Physical Review X** v. 8, n. 3, p. 31019, 2018.

LAN, Y *et al.* Spray drift mitigation with spray mix adjuvants. **Applied Engineering in Agriculture E** v. 24, n. table 1, p. 5–10, 2008.

LI, Xinpeng *et al.* Characteristics on the Spatial Distribution of Droplet Size and Velocity with Difference Adjuvant in Nozzle Spraying. **Agronomy** v. 12, n. 8, 2022.

LIU, Qi *et al.* Drift evaluation of a quadrotor unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of liquid pressure and wind speed on drift potential based on wind tunnel test. **Applied Sciences (Switzerland)** v. 11, n. 16, 2021.

LODWIK, Dariusz; PIETRZYK, Jerzy; MALESA, Włodzimierz. Analysis of volume

distribution and evaluation of the spraying spectrum in terms of spraying quality. **Applied Sciences (Switzerland)** v. 10, n. 7, 2020.

MACHADO, Willian A *et al.* Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola** v. 39, n. 1, p. 83–88, 2019.

MAKHNENKO, Iaroslav *et al.* A review of liquid sheet breakup: Perspectives from agricultural sprays. **Journal of Aerosol Science** v. 157, n. April, p. 105805, 2021.

MILANOWSKI, Marek *et al.* Effect of Adjuvant, Concentration and Water Type on the Droplet Size Characteristics in Agricultural Nozzles. **Applied Sciences** v. 12, n. 12, p. 5821, 2022.

MORAES, Eder D. *et al.* Potential risk of drift from inclined fan nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 23, n. 3, p. 229–233, 2019.

POLLI, Estefania Gomiero *et al.* Physical–chemical properties, droplet size, and efficacy of dicamba plus glyphosate tank mixture influenced by adjuvants. **Agronomy** v. 11, n. 7, 2021.

SAMPLES, Chase Allen *et al.* Effect of deposition aids tank-mixed with herbicides on cotton and soybean canopy deposition and spray droplet parameters. **Agronomy** v. 11, n.2, 2021.

SHAN, Changfeng *et al.* Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using uav. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** v. 14, n. 1, p. 74–81, 2021.

SIJS, R *et al.* Drop size measurement techniques for sprays: Comparison of image analysis, phase Doppler particle analysis, and laser diffraction. **AIP Advances** v. 11, n. 1, 2021.

SIJS, Rick; BONN, Daniel. The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. **Pest Management Science** v. 76, n. 10, p. 3487–3494, 2020.

SPANOGHE, Pieter *et al.* Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pest Management Science** v. 63, n. 1, p. 4–16, 2007.

TORRENT, Xavier *et al.* Determination of spray drift and buffer zones in 3D crops using the ISO standard and new LiDAR methodologies. **Science of the Total Environment** v. 714, p. 136666, 2020.

TUDI, Muyesaier *et al.* Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. [S.l.: s.n.], 2021.

WANG, Shilin *et al.* Effects of Adjuvants on Spraying Characteristics and Control Efficacy in Unmanned Aerial Application. **Agriculture (Switzerland)** v. 12, n. 2, p. 1–15, 2022.

YANG, Wanting *et al.* Effect of Physical Properties of an Emulsion Pesticide on the Atomisation Process and the Spatial Distribution of Droplet Size. **Agriculture (Switzerland)** v. 12, n. 7, 2022.

ZHANG, Xiaoguang; XIONG, Lixia. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** v. 619, n. 94, p. 126557, 2021.

ZHAO, Rui *et al.* Effects of tank-mix adjuvants on physicochemical properties and dosage delivery at low dilution ratios for unmanned aerial vehicle application in paddy fields. **Pest Management Science** v. 78, n. 4, p. 1582–1593, 2022.

CAPÍTULO III

Potencial de redução do risco de deriva das soluções de adjuvantes

Resumo

Muitas vezes, os pesticidas aplicados nas plantas não atingem os alvos desejados. As perdas de pesticidas causam prejuízos econômicos e técnicos. No entanto, a utilização de adjuvantes pode minimizar os desperdícios. Objetivou-se avaliar o potencial de redução de deriva de soluções de adjuvantes, para o efeito foi realizado um experimento em delineamento inteiramente ao acaso, contendo 8+1 (adjuvantes + testemunha) tratamentos. O experimento foi realizado em túnel de vento. Foi utilizada a ponta de pulverização do tipo leque plano simples 11003 (jacto), na pressão de 300 kPa. Para coleta do volume pulverizado, foram colocados fios de polipropileno de 2 mm, nas distâncias de 1 a 4 metros e 6 alturas, partindo da base do túnel. Todos os amostradores verticais estavam equidistantes a 0,1 m. Os depósitos na base do túnel foram coletados com placas de Petri. Os depósitos obtidos, foram analisados a partir do espectrofotômetro. Os resultados indicaram diferenças na porcentagem de deriva de todos os adjuvantes em relação a água. Sendo que entre os adjuvantes, observou-se que o Disperse Ultra, Agral, ADMAX e Silicon SG, aumentaram a deriva em 22,34, 74,35, 150,56 e 176,15%. Por outro lado, os adjuvantes BREAK-THRU, Assist, Agefix e Aureo reduziram a deriva em 18,66, 40,35, 50,51, 59,39% e foram classificados nas categorias de 1, 2, 2 e 3, respectivamente. Contudo, o desempenho dos adjuvantes na redução de deriva não pode ser generalizado, pode depender do tipo de adjuvante, e alguns adjuvantes podem ser utilizados como aliados à redução da deriva.

Palavras-chave: Adjuvantes; Redução de deriva; Túnel de vento.

1.0 INTRODUÇÃO

A utilização de pesticidas na agricultura, constitui uma das estratégias que contribui para minimizar as perdas de produção e produtividade causada por pragas, doenças e plantas daninhas (TORRENT *et al.*, 2017). Em geral, as perdas de produtos agrícolas variam em função do grupo de cultura, e podem chegar à 78% se as pragas, doenças e plantas daninhas não forem controladas (TUDI *et al.*, 2021). Uma das partes mais críticas da aplicação de pesticidas é a deriva. Menos de 75% de Pesticidas aplicados chegam ao alvo (HONG; ZHAO; ZHU, 2018; ZHANG, XUYANG; LUO; GOH, 2018). A quantidade de pesticidas que são perdidos por deriva, podem migrar para o meio ambiente proporcionando riscos à saúde pública, e aumento nos custos de produção. Por esses motivos, a perda por deriva causa ineficiência no controle e torna a tecnologia de aplicação de pesticidas ineficiente.

A utilização de adjuvantes pode ser uma estratégia interessante para reduzir a deriva e aumentar a eficiência das aplicações (ÍTMEÇ *et al.*, 2022). Existem no mercado, diversos tipos de adjuvantes com distinção da formulação, função e composição. Porém, vários adjuvantes são tidos como multifuncionais, e usados como redutores de deriva. Em geral, a adição de adjuvantes a soluções de aplicação pode ter um efeito significativo na deriva. Muitos estudos de mistura em tanque de pesticidas e adjuvantes têm sido feitos para avaliar o efeito de adjuvantes na redução da deriva, mas a complexidade do fenômeno tem sido um desafio, pois a mistura de tanque pode estar sujeita a mudança das características da calda. Para Jomantas *et al.* (2023) o efeito de adjuvantes redutores de deriva é menor quando são utilizadas pontas hidráulicas de plano padrão simples. Portanto, avaliar a deriva de adjuvantes pode tornar-se uma estratégia promissora no entendimento para seleção de adjuvantes com efeitos de redução de perdas e contaminação ambiental. Objetivou-se avaliar o potencial de redução de deriva de diversos tipos de adjuvantes.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Determinação da deriva em túnel de vento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas gerais. Foram avaliados 9 tratamentos (8 adjuvantes +1 testemunha) no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 3 repetições. O túnel de vento, é uma estrutura de circuito fechado de ar, com comprimento de 7,0 metros, largura 1,40 metros e altura de 1,50 metros. O ar é gerado por um ventilador de pás, passível de ser controlado através de um compressor.

A velocidade do vento no túnel, foi ajustada eletronicamente através de um inversor de frequência (Siemens, Micromaster 420) a 30 Hz para 2 m s^{-1} . De acordo com as recomendações da ISO 22856, aferiu-se a velocidade do vento dentro do túnel utilizando um anemômetro de fio quente (TAFR-180, Instrutherm LTDA). A medição da velocidade do vento realizou-se na área próxima à ponta de pulverização que estava a 1 m de distância do ventilador. Após o início do funcionamento do ventilador, manteve-se 5 minutos antes dos testes para garantir a estabilização do ar.

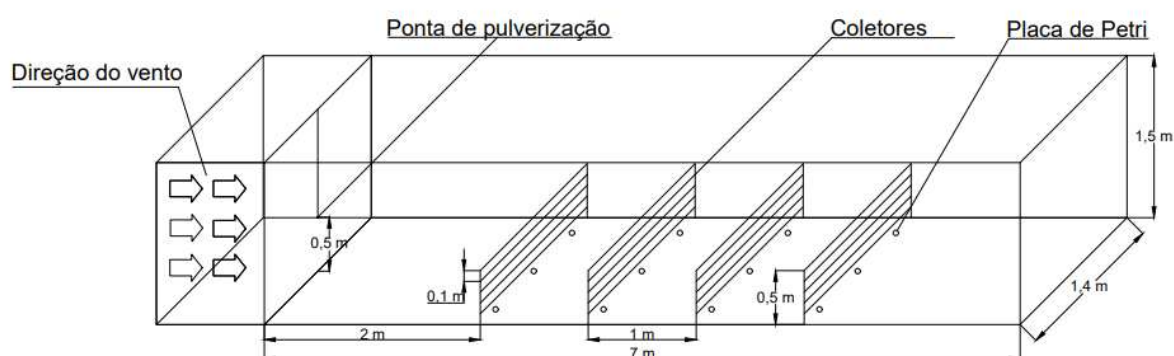
Dentro do túnel de vento, foi instalado uma ponta de pulverização do tipo leque plano simples AXI 11003 (Jacto) e fixada a 0,5 m do piso. O fluxo da solução que passava pela ponta, era controlado por uma válvula solenoide. Na zona da ponta de pulverização, foi instalado um anti gotejo. No sistema de pulverização foi instalado um manômetro para o controle da pressão de trabalho. A temperatura e umidade relativa foram mantidas, de acordo com as recomendações da ISO 22856 ($20 \pm 1 \text{ }^\circ \text{C}$ e $80 \pm 5\%$).

2.2 Avaliação do potencial de deriva das soluções dos adjuvantes

Foram utilizados coletores de fios de polietileno com diâmetro de 2 mm, para avaliação do potencial de deriva de acordo com a recomendação da ISO 22856 (ISO 22856, 2008). Os fios de polietileno tinham 1 metro de comprimento, para permitir que toda a linha de coleta estivesse dentro do fluxo nominal do túnel de vento. Os fios de polietileno, foram alocados transversalmente à direção do fluxo de ar, e fixados em suportes metálicos a partir de 2 m de distância da ponta de pulverização em 1, 2, 3, 4 metros e 5 alturas separadas em 0,10 m, segundo a metodologia proposta pela ISO 22856. Foram instaladas 3 placas de Petri de 90x15 mm abaixo de cada primeiro amostrador. As placas estavam equidistantes ao longo da secção

do amostrador de polietileno (Figura- 14). Os resultados obtidos nas placas foram considerados como valores depositados no solo. Em todas as soluções, foi adicionado corante azul brilhante como traçador, na concentração de 3 g L^{-1} . A aplicação realizou-se em 30 segundos a 300 kPa de pressão.

Figura 14 - Dimensão e disposição dos coletores no túnel de vento



Fonte: Autor (2023)

2.2.1 Processamento do depósito

Após aplicação, considerou-se 2 minutos como tempo de estabilização das condições internas, e após este tempo os fios ou coletores foram retirados e colocados em embalagens plásticas pré-identificadas de acordo com cada distância e altura.

Os amostradores, foram colocados em um recipiente escuro, para evitar a fotodegradação do corante azul (ALVES; KRUGER; CUNHA, 2018). Em seguida, foram adicionados 50 e 7 mL de água destilada a cada embalagem com fio e placas de Petri, respectivamente, para extração do corante depositado. A extração do corante, foi feita pela agitação manual até a remoção de toda a quantidade depositada, e submetida a análise no espectrofotômetro (SP-22, Biospectro) à 630 nm. O tempo mínimo de retirada do depósito nos fios foi de 30 s, de acordo com a metodologia proposta por Liu *et al.* 2021; Madureira, Raetano e Cavalieri, 2015). Em cada solução aplicada (adjuvante + corante ou água + corante), retirou-se 1 mL para aferição das curvas de calibração através da diluição seriada (Tabela-3) (ISO 22856, 2008).

Tabela 8- Equações para quantificar a concentração da solução dos tratamentos, sendo utilizado em $y=ax+b$.

Parâmetros	Adjuvantes								
	Disperse Ultra	Agral	Silicon SG	BREAK-THRU	ADMAX	Agefix	Assist	Aureo	Água
a	74,993	75,221	66,888	67,39	68,952	54,57	59,305	68,457	99,193
b	-0,3037	0,6692	1,5052	-0,9452	-0,1369	-0,2428	-0,2911	-0,4477	-0,5199
r²	0,9980	0,9981	0,9988	0,9989	0,9987	0,9990	0,9991	0,9987	0,9996

Fonte: Autor (2023)

A partir dos valores de absorvância obtidos nos coletores pelo espectrofotômetro, achou-se a quantidade de corante ($\mu\text{g L}^{-1}$) depositado em cada um dos fios através das curvas. Os valores obtidos, foram multiplicados e divididos pela quantidade de água e a concentração inicial do corante (3 g L^{-1}). O resultado da operação anterior, foi expresso em μL . Com base nos valores obtidos, calculou-se a porcentagem de deriva de acordo com as recomendações da ISO 22856 (ISO 22856, 2008). Por outro lado, considerando os valores do líquido de referência (água + corante) em $\mu\text{g L}^{-1}$, foi calculada a porcentagem de redução de deriva para cada adjuvante, de acordo com a metodologia adaptada de Itmeç *et al.* (2022), calculado pela equação 2.

$$\text{PRDP} = \frac{(PD^r - PD^1)}{PD^r} * 100\% \quad (2)$$

Onde: PRDP-porcentagem de redução de deriva potencial (%), PD^r -potencial de deriva do líquido de referência ($\mu\text{g mL}^{-1}$), PD^1 - Potencial de deriva do adjuvante ($\mu\text{g mL}^{-1}$).

2.3 Análise e tratamento de dados

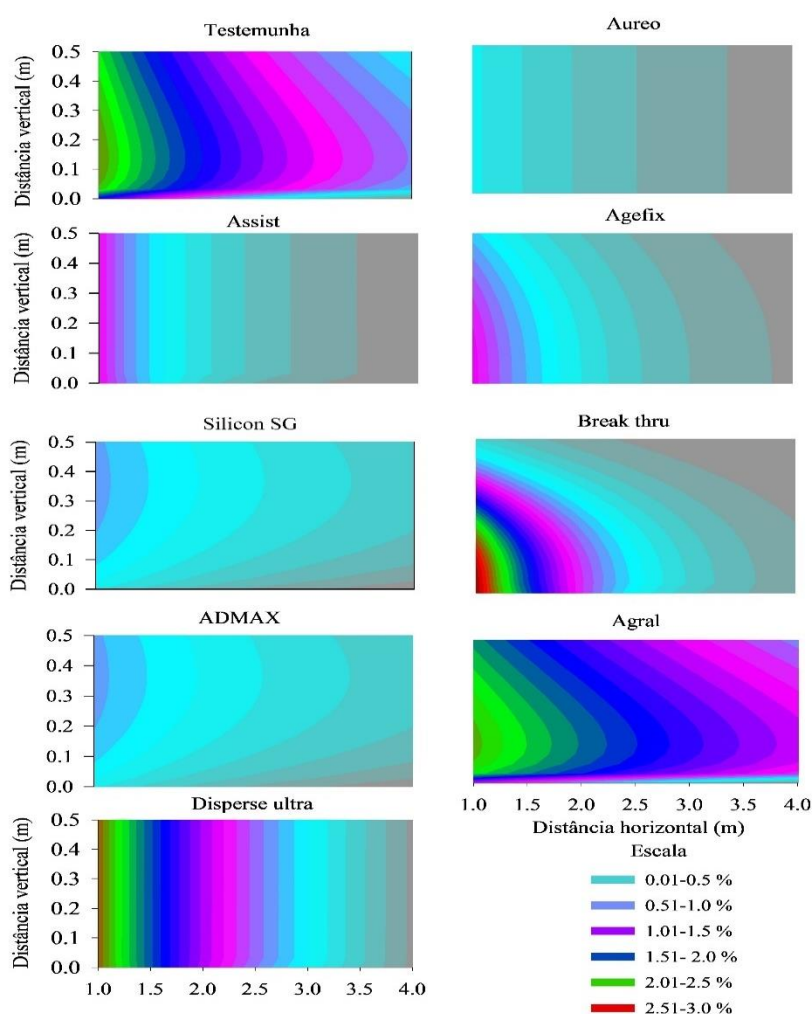
Os dados foram interpolados e representados em gráfico de contorno, para dar a conhecer a ideia geral da deriva. Os gráficos foram ajustados em uma escala de 0,01 a 3% para todos os adjuvantes. Para compreender melhor o efeito dos adjuvantes na deriva, foram realizadas Análise de variância (ANOVA) à 5% de probabilidade e comparação múltipla pelo teste de Dunnett a 0,1 m de altura nas 4 distâncias horizontais, segundo a tendência metodológica de Torrent *et al.* (2017); Wang *et al.* (2020). Além disso, realizou-se a análise de componentes principais para verificar a similaridade dos tratamentos e as variáveis que mais influenciaram no comportamento dos adjuvantes estudados. Em função do PRDP, foram padronizadas 4 escalas de classificação, das quais 0-25, 26-50,51-75,76-100%, correspondentes a escala de 1, 2, 3 e 4.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

Os resultados do ajuste dos modelos do potencial de deriva vertical e horizontal dos tratamentos, podem ser observados na figura-15. No entanto, para melhor entendimento e engajamento dos resultados são apresentados os gráficos de linha para todos os tratamentos testados (Figura 16), à 0,1 m de distância vertical. Todos os adjuvantes testados, exceto Agral são indicados como redutores de deriva.

Figura 15 - Descrição geral da deriva em 4 distâncias horizontais e 5 alturas dos tratamentos avaliados

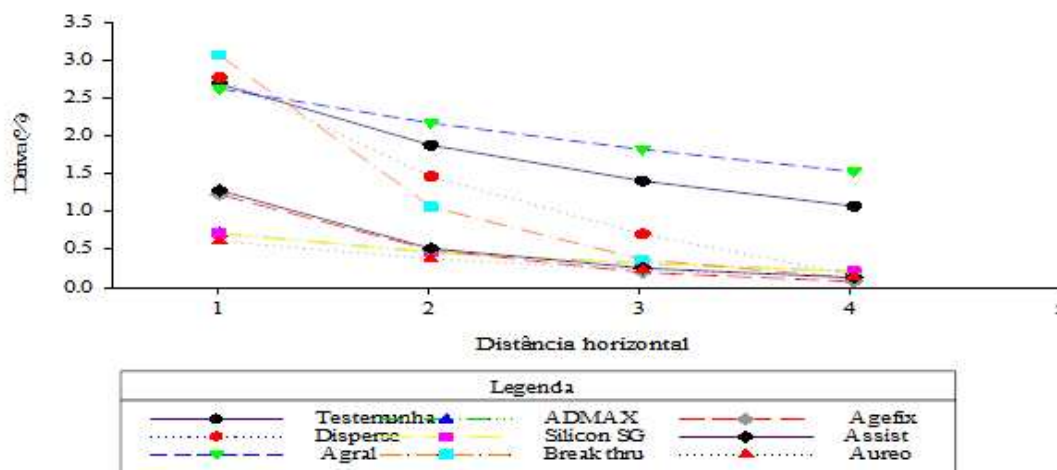


Fonte: Autor (2023)

A deriva dos adjuvantes, mostrou-se consistente com o $D_{v0.5}$, exceto para o Agefix e Disperse Ultra, isto é, todos adjuvantes que produziram gotas finas na pressão de teste tiveram maior porcentagem derivável em relação aos adjuvantes com gota média. Além disso, quanto maior foi a porcentagem de gotas finas na pressão de teste maior foi a porcentagem de deriva.

Pela análise de variância, foram observadas diferenças estatísticas entre os adjuvantes. Todos os tratamentos, indicaram tendência de apresentar menor deriva depositada com o aumento da distância horizontal. O Aureo apresentou a menor deriva nos coletores (Figura-16).

Figura 16 - Deriva dos adjuvantes a 0,1 m de altura em 4 distâncias e comparação múltipla

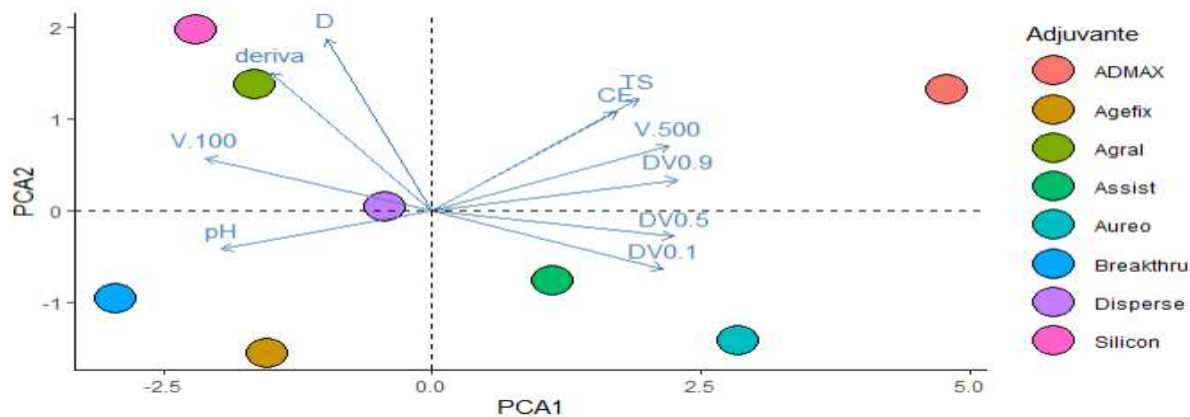


Adjuvante	p-Teste de Dunnett			
	Distância (m)			
	1	2	3	4
Disperse Ultra	1,000 ^{ns}	0,5697 ^{ns}	0,8933 ^{ns}	<0,001***
Agral	0,9997 ^{ns}	0,9993 ^{ns}	0,1032 ^{ns}	0,0373*
Break	0,9947 ^{ns}	0,1977 ^{ns}	<0,001***	<0,001***
Silicon	0,00172**	<0,001***	<0,001***	<0,001***
ADMAX	0,98472 ^{ns}	0,0458*	<0,001***	<0,001***
Agefix	0,11638 ^{ns}	0,0254*	<0,001***	<0,001***
Assist	0,62690 ^{ns}	0,0721 ^{ns}	<0,001***	<0,001***
Áureo	0,06972 ^{ns}	0,0112*	0,00114**	<0,001***

ns: não significativo e *,** e *** significativo em relação a testemunha a 5%, 1% e <0,1% de probabilidade, pelo teste de Dunnett. Fonte: Autor (2023).

Na distância de 1 metro, todos adjuvantes exceto Silicon SG não diferiram da testemunha. Além disso, na distância de 2 metros apenas os adjuvantes Silicon SG, ADMAX, Agefix e Aureo diferiram da testemunha. Por outro lado, na distância de 3 e 4 metros, todos os adjuvantes exceto Disperse Ultra e Agral não diferiram da testemunha a 3 metros de distância. Tendo sido observada uma maior porcentagem de deriva para o adjuvante Agral (Figura 17). No entanto, a análise de componentes principais, indicou maior probabilidade de deriva dos adjuvantes BREAK-THRU, Silicon SG, Agral, sendo que, à deriva está associada à porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm (Apêndice B tabela 13. No entanto, os adjuvantes Aureo, Assist e ADMAX pronunciaram-se menos (Figura-17).

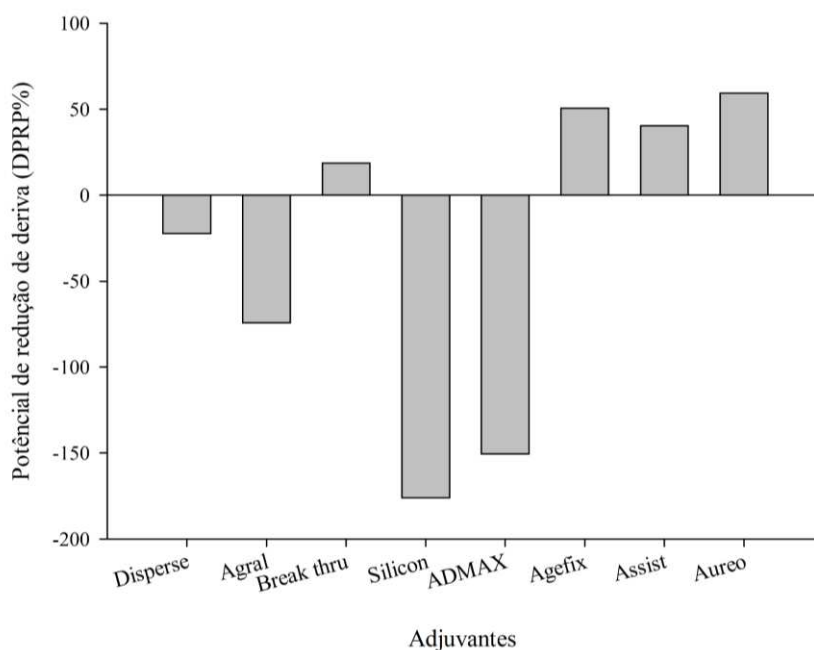
Figura 17 - Análise de componentes principais dos adjuvantes



Fonte: Autor, (2023)

Os adjuvantes Disperse Ultra, Silicon SG e ADMAX apresentaram maior deriva em relação ao tratamento testemunha. Os adjuvantes Silicon SG, ADMAX, Agral e Disperse Ultra, aumentaram a deriva em 176,15, 150,56, 74,35 e 22,34%. Os adjuvantes BREAK-THRU, Assist, Agefix, aureo reduziram a deriva em 18,66, 40,35, 50,51, 59,39% (Figura-19). Com base nos resultados obtidos, os adjuvantes BREAK-THRU, Assist, Agefix e Aureo foram classificados nas categorias de 1, 2, 2 e 3, respectivamente.

Figura 18 - Potencial de redução de deriva dos adjuvantes estudados



3.2 Discussão

O $D_{v0.5}$ é considerado um dos parâmetros que afeta o nível de deriva, portanto, com altos valores de $D_{v0.5}$ os níveis de deriva podem reduzir, porque a fração de gotas finas tende a reduzir (WANG *et al.*, 2018). Quando as gotas são maiores o arraste a locais além do alvo tende a ser menor. Por outro lado, a porcentagem de deriva decresce quando a porcentagem de gotas menor que 100 micra reduz (MARUBAYASHI *et al.*, 2021).

Os adjuvantes Assist e Aureo indicaram gotas maiores em relação aos com maior fração derivável, exceto o Agefix. Estes adjuvantes apresentaram menor deriva. Além disso, os adjuvantes Agefix e Silicon-SG com porcentagem de gotas < 100 μm de 18,91 e 25,06%, respectivamente, apresentaram menor deriva a 0,1 m. No entanto, isso não implica necessariamente que o Silicon SG tivesse menor deriva, isso ocorreu porque a maior fração de gotas estava nos coletores situados acima da distância inicial apresentados na figura-17. A suscetibilidade a deriva do adjuvante Silicon SG também foi pronunciada pela análise de componentes principais.

Apesar de Machado *et al.* (2019) indicarem que fluidos com maior tensão superficial possuem possibilidades de produzir gotas maiores e conseqüentemente menor deriva, esta premissa não poder ser generalizada, uma vez que a relação da tensão superficial com o tamanho das gotas não é linear e simples. Assim, torna-se importante considerar outras variáveis e a interação entre o fluido e a ponta de pulverização (CRISTIMIANO; MATIAS; NAIARA, 2019; MILANOWSKI *et al.*, 2022).

İtmeç *et al.* (2022) avaliaram o potencial de deriva de adjuvantes com ingredientes ativos diferentes, observaram que o adjuvante à base de silicone teve a maior deriva em comparação com outros. Além disso, o adjuvante à base de polímero teve melhor desempenho no potencial de redução de deriva. Wang, *et al.* (2022) observaram que os adjuvantes à base de óleo vegetal metilado e os adjuvantes de polímero híper ramificado tiveram maior deriva. No entanto, na presente pesquisa observou-se que os adjuvantes à base de óleo mineral e vegetal tiveram o melhor potencial de redução de deriva. Resultados do melhor potencial de redução de deriva de adjuvantes à base de óleo vegetal, também foram reportados por Wang *et al.* (2023).

Os adjuvantes à base de ésteres, polímeros têm a capacidade de reduzir a deriva (WANG *et al.*, 2022). Moraes *et al.* (2019) indicou que em tecnologia de aplicação de

defensivos, porcentagens de gotas $< 100 \mu\text{m}$ menor que 15% podem ser preferenciais. Uma vez que podem reduzir consideravelmente os níveis de deriva das soluções, porém, nesta pesquisa observou-se que os adjuvantes Disperse Ultra, ADMAX com porcentagens de volume de gotas $< 100 \mu\text{m}$ de 11,13 e 9,0%, respectivamente, tiveram maior deriva, não corroborando com a premissa de Moraes *et al.* No entanto, diante dos diferentes ingredientes ativos e composições de soluções pode não ser adequado a generalização da porcentagem.

A maior fração derivável dos adjuvantes, torna-os menos interessantes para a tecnologia de aplicação. De acordo com Ítmeç *et al.* (2022) em seu estudo de avaliação da deriva em túnel de vento de diversos adjuvantes observaram que o adjuvante à base de polímero, teve redução de deriva de 60,53 % quando comparado com água, e o adjuvante à base de organo-silicone reduziu em 85,76%. Os autores, atribuem a viscosidade como o fator primordial na redução da deriva. Mais uma vez, em adjuvantes, os produtos fabricados com o mesmo ingrediente e com formulação distinta podem ter dinâmicas distintas. No presente estudo a maior porcentagem de redução de deriva foi de 59,35% do adjuvante na base do óleo vegetal, enquanto o adjuvante na base de polímero teve 18,66 % de redução de deriva.

Apesar do adjuvante Disperse Ultra ter apresentado um $D_{v0.5}$ correspondente a gotas médias à 300 kPa, e volume de gotas menor que $100 \mu\text{m}$ menor que 15% apresentou mais suscetibilidade à deriva. Vários estudos, indicam que os adjuvantes possuem o poder de alterar a dinâmica da atomização das gotas e influenciar a deriva (WANG, *et al.*, 2022). Estes resultados sugerem a correlação entre os diâmetros de gota e a porcentagem de deriva.

4.0 CONCLUSÃO

Com o trabalho realizado, foi possível verificar que os adjuvantes são bons aliados para redução de deriva, mas esta redução de deriva depende do tipo de adjuvante. Assim sendo, é fundamental saber o funcionamento do adjuvante. O óleo vegetal na base de éster metílico de soja foi o que mais reduziu a deriva em 59,35%.

REFERÊNCIAS

ALVES, Guilherme Sousa; KRUGER, Greg Robert; DA CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** v. 53, n. 6, p. 693–702, 2018.

CRISTIMIANO, José; MATIAS, João Paulo; NAIARA, Jéssica. Espectro de gotas produzidas com diferentes concentrações de calda e pontas de pulverização. 2019.

HONG, Se Woon; ZHAO, Lingying; ZHU, Heping. CFD simulation of pesticide spray from air-assisted sprayers in an apple orchard: Tree deposition and off-target losses. **Atmospheric Environment** v. 175, n. December 2017, p. 109–119, 2018.

ISO 22856. International Standard International Standard .61010-1 © Iec:2001. [S.l: s.n.]. , 2008

ÍTMEÇ, Medet *et al.* Assessment of Spray Drift with Various Adjuvants in a Wind Tunnel. **Agronomy** v. 12, n. 10, p. 1–16, 2022.

JOMANTAS, Tadas *et al.* The Influence of Newly Developed Spray Drift Reduction Agents on Drift Mitigation by Means of Wind Tunnel and Field Evaluation Methods. **Agriculture (Switzerland)** v. 13, n. 2, 2023.

LIU, Qi *et al.* Drift evaluation of a quadrotor unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of liquid pressure and wind speed on drift potential based on wind tunnel test. **Applied Sciences (Switzerland)** v. 11, n. 16, 2021.

MACHADO, Willian A *et al.* Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola** v. 39, n. 1, p. 83–88, 2019.

MADUREIRA, Ronaldo P; RAETANO, Carlos G; CAVALIERI, Jhonatan D. Interaction spray nozzle-adjuvant to estimate potential risk of spray drift. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 19, n. 2, p. 180–185, 2015.

MARUBAYASHI, Rodrigo Y.P. *et al.* Insecticide spray drift reduction with different adjuvants and spray nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 25, n. 4, p. 282–287, 2021.

MILANOWSKI, Marek *et al.* Effect of Adjuvant, Concentration and Water Type on the Droplet Size Characteristics in Agricultural Nozzles. **Applied Sciences** v. 12, n. 12, p. 5821, 2022.

MORAES, Eder D. *et al.* Potential risk of drift from inclined fan nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 23, n. 3, p. 229–233, 2019.

TORRENT, Xavier *et al.* Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part I. Effects on wind tunnel and field spray drift. **Crop Protection** v. 96, p. 130–143, 2017.

TUDI, Muyesaier *et al.* Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** v. 18, n. 3, p. 1–24, 2021.

WANG, Guobin *et al.* Evaluation of Spray Drift of Plant Protection Drone Nozzles Based on Wind Tunnel Test. **Agriculture (Switzerland)** v. 13, n. 3, 2023.

WANG, Shilin *et al.* Effects of Adjuvants on Spraying Characteristics and Control Efficacy in Unmanned Aerial Application. **Agriculture (Switzerland)** v. 12, n. 2, p. 1–15, 2022.

WANG, Xiaonan *et al.* Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** v. 11, n. 5, p. 54–58, 2018.

WANG, Changling *et al.* Spray drift characteristics test of unmanned aerial vehicle spray unit under wind tunnel conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** v. 13, n. 3, p. 13–21, 2020

ZHANG, Xuyang; LUO, Yuzhou; GOH, Kean S. Modeling spray drift and runoff-related inputs of pesticides to receiving water. **Environmental Pollution** v. 234, p. 48–58, 2018.

APÊNDICE A - espectro de gotas de adjuvantes, avaliados sob diferentes pressões de pulverização

Tabela 9 - Resumo da análise de variância do espectro dos diâmetros volumétricos dos adjuvantes testados

FV	GL	Quadrados Médios			
		D _{v0.1}	D _{v0.5}	D _{v0.9}	AR
Adjuvante	8,00	13.638,10 *	41.410,125 *	55.667,88 *	0,91 *
Pressão	4,00	26.740,30 *	85.732,25 *	173.190,00 *	0,75 *
Adjuvante*pressão	32,00	702,00 *	1.235,16*	7.140,06 *	0,06 *
Resíduo	180,00	96,71	293,84	2.138,17	0,0026
CV (%)		10,43	7,42	10,03	3,15

* significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Valores médios do D_{v0.1} dos adjuvantes testados

Adjuvante	D _{v0.1}				
	Pressão (kPa)				
	100	200	300	400	500
Aureo	210,50 a	142,58 a	121,42 a	117,82 a	86,20 a
ADMAX	173,88 b	141,54 a	105,28 ab	93,21 b	85,46 a
Assist	156,12 b	127,30 a	99,14 b	90,49 b	84,46 a
Disperse Ultra	138,86 c	106,70 b	95,18 c	85,05 c	77,82a
Agefix	112,18 d	88,25 c	79,59 d	69,93 d	64,85 b
Silicon SG	102,60 d	78,51 c	74,28 d	67,092 d	61,79 b
BREAK-THRU	102,26 d	78,21 c	68,54 d	64,92 d	60,87 b
Agral	101,84 d	77,718 c	67,30 d	63,92 d	60,27 b
Água	98,524 d	74,974 c	66,98 d	60,89 d	58,24 c

Médias seguidas pelo mesmo grupo de letras na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scot not.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância da porcentagem de gotas menor que 100 e maior que 500 µm

FV	GL	Quadrados Médios	
		% <100 (µm)	% >500 (µm)
Adjuvante	8,00	892,24 *	256,66 *
Pressão	4,00	1344,99 *	1171,92*
Adjuvante*Pressão	32,00	17,73 *	62,55*
Resíduo	180,00	1,39	8,51
CV (%)		7,97	36,00

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 11 - Resumo dos Componentes principal 1 e 2

Variáveis	CP1	CP2
Condutividade elétrica	0,69	0,55
Potencial Hidrogeniônico	-0,77	-0,39

Densidade	-0,34	0,33
Tensão superficial	0,80	0,57
Ângulo de contato	0,53	0,66
D_{v0.1}	0,89	-0,45
D_{v0.5}	0,94	-0,31
D_{v0.9}	0,96	-0,035
AR	-0,84	0,52
V<100	-0,88	0,77
V>500	0,91	0,32
% de variância	63,79	19,37

APÊNDICE B - potencial de redução do risco de deriva dos adjuvantes

Tabela 12 - Resumo dos componentes principais 1 e 2

Variáveis	PCA 1	PCA2
Condutividade elétrica	0,71	0,44
Potencial hidrogeniônico	-0,80	-0,17
Densidade	-0,41	0,77
Tensão superficial	0,79	0,50
D_{v0.1}	0,88	-0,26
D_{v0.5}	0,92	-0,12
D_{v0.9}	0,94	0,14
V<100	-0,86	0,23
V>500	0,90	0,29
Deriva	-0,62	0,61
% Variância	63,73	16,79