

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

**ESPALHAMENTO DE GOTAS DE FUNGICIDAS EM ASSOCIAÇÃO  
COM ADJUVANTES SOBRE SUPERFÍCIES VEGETAIS E  
ARTIFICIAIS**

**Ricardo Augusto Decaro  
Engenheiro Agrônomo**

**2018**

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

**ESPALHAMENTO DE GOTAS DE FUNGICIDAS EM ASSOCIAÇÃO  
COM ADJUVANTES SOBRE SUPERFÍCIES VEGETAIS E  
ARTIFICIAIS**

**Ricardo Augusto Decaro**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira**

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

**2018**

D291e Decaro, Ricardo Augusto  
Espalhamento de gotas de fungicidas em associação com  
adjuvantes sobre superfícies vegetais e artificiais / Ricardo Augusto  
Decaro. -- Jaboticabal, 2018  
x, 76 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018  
Orientador: Marcelo da Costa Ferreira  
Banca examinadora: Daniel Junior de Andrade, Paulo Roberto Pala  
Martinelli  
Bibliografia

1. Tecnologia de aplicação 2. Tensão superficial. 3. Ângulo de  
contato. 4. Área molhada. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.952

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

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESPALHAMENTO DE GOTAS DE FUNGICIDAS EM ASSOCIAÇÃO COM ADJUVANTES SOBRE SUPERFÍCIES VEGETAIS E ARTIFICIAIS

**AUTOR: RICARDO AUGUSTO DECARO**

**ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA**

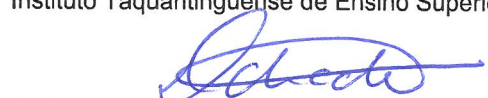
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA  
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal



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



Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE  
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 09 de abril de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Ricardo Augusto Decaro** – Filho de Sergio Tadeu Decaro e Maria Terezinha Stracini Decaro, nasceu em 14 de outubro de 1991 na cidade de Taquaritinga – SP. Recebeu prêmio outorgado pela Câmara Municipal de Taquaritinga em 2009 com o Mérito de “Aluno Exemplar” por seu desempenho escolar. Engenheiro Agrônomo pela UNESP - Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal, em 2015, classificado em 1º lugar no ranking da turma de formando. Mestrando e bolsista CAPES em Produção Vegetal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho atuando e desenvolvendo trabalhos na área de Tecnologia de Aplicação de produtos fitossanitários. Em 2012 tornou-se membro e um dos fundadores do Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação - NEDTA - no Departamento de Fitossanidade, vencendo o concurso para eleger o logotipo do laboratório. Bolsista FAPESP entre 2012 e 2013. Foi membro do Grupo Integração Empresa Universidade (GIEU) na Gestão 2012-2013. Possui experiência e trabalhos na área de Tecnologia de Aplicação.

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

(Friedrich Nietzsche)

## *Pai e Mãe*

À minha mãe Maria Terezinha Stracini Decaro, por ter me dado o presente da vida e por estar sempre ao meu lado, me protegendo e aconselhando com muito carinho.

Ao meu pai Sergio Tadeu Decaro, ao qual expresso imensa gratidão por ter sido o exemplo de um homem correto, justo e muito trabalhador, me orientando e mostrando os melhores caminhos a serem seguidos.

Ao meu irmão Sergio Tadeu Decaro Júnior, que é uma das pessoas que mais contribuíram para minha formação, sempre me dando forças.

*Dedico*

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

Obrigado por me fazer feliz.

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

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

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

Aos Professores Doutores Rita de Cássia Panizzi, Paulo Roberto Pala Martinelli e Leonardo Bianco de Carvalho por terem participado de minha banca de qualificação de mestrado.

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

Aos meus amigos do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, em especial ao Eng. Agr. Fabiano Griesang, M.Sc., por terem me auxiliado nas etapas de realização dos trabalhos desta dissertação.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                    | Página        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                                                                 | <b>iii</b>    |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                                                                                               | <b>iv</b>     |
| <b>CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>                                                                                                       | <b>1</b>      |
| 1. Introdução.....                                                                                                                                 | 1             |
| 2. Revisão de Literatura.....                                                                                                                      | 2             |
| Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.....                                                                                           | 2             |
| Uso de adjuvantes e comportamento da calda em diferentes superfícies foliares.....                                                                 | 4             |
| 3. Referências.....                                                                                                                                | 5             |
| <br><b>CAPÍTULO 2 – ATUAÇÃO DE ADJUVANTES NAS VARIÁVEIS TENSÃO SUPERFICIAL E ESPECTRO DE TAMANHO DE GOTAS EM CALDAS FÚNGICAS.....</b>              | <br><b>9</b>  |
| Resumo.....                                                                                                                                        | 9             |
| Abstract.....                                                                                                                                      | 10            |
| 1. Introdução.....                                                                                                                                 | 10            |
| 2. Material e Métodos.....                                                                                                                         | 12            |
| Análise da Tensão Superficial das caldas.....                                                                                                      | 13            |
| Espectros do tamanho de gotas produzidas.....                                                                                                      | 15            |
| 3. Resultados e Discussão.....                                                                                                                     | 16            |
| Tensão superficial das caldas.....                                                                                                                 | 16            |
| Caracterização do tamanho de gotas.....                                                                                                            | 17            |
| 4. Conclusão.....                                                                                                                                  | 25            |
| 5. Referências.....                                                                                                                                | 25            |
| <br><b>CAPÍTULO 3 – ESPALHAMENTO DE GOTAS DE CALDAS FUNGICIDAS ASSOCIADA A ADJUVANTES SOBRE DIFERENTES SUPERFÍCIES VEGETAIS E ARTIFICIAIS.....</b> | <br><b>28</b> |
| Resumo.....                                                                                                                                        | 28            |
| Abstract.....                                                                                                                                      | 29            |
| 1. Introdução.....                                                                                                                                 | 29            |

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2. Material e Métodos.....</b>                                                                                | <b>30</b> |
| Ângulo de contato e área molhada das gotas.....                                                                  | 32        |
| <b>3. Resultados e Discussão.....</b>                                                                            | <b>35</b> |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de cana-de-açúcar..... | 35        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de milho.....          | 40        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de soja.....           | 45        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de algodão.....        | 49        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de citros.....         | 53        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de café.....           | 57        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfície de parafilme....                                      | 61        |
| Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfície de vidro.....                                         | 63        |
| Comparação entre as superfícies vegetais e artificiais.....                                                      | 64        |
| <b>4. Conclusão.....</b>                                                                                         | <b>73</b> |
| <b>5. Referências.....</b>                                                                                       | <b>73</b> |
| <b>CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                     | <b>76</b> |

## **ESPALHAMENTO DE GOTAS DE FUNGICIDAS EM ASSOCIAÇÃO COM ADJUVANTES SOBRE SUPERFÍCIES VEGETAIS E ARTIFICIAS**

**RESUMO** - Os estudos e pesquisas em Tecnologia de Aplicação são importantes para aperfeiçoar a aplicação de caldas no Brasil e no mundo. Conhecer o efeito de caldas contendo diferentes produtos fitossanitários e adjuvantes em relação a diferentes superfícies vegetais é muito importante para posicionar as melhores combinações de caldas, visando promover assim, o efeito desejado da gota no alvo. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o espalhamento de gotas de caldas fitossanitárias contendo dois fungicidas amplamente usados na agricultura em associação com adjuvantes, além de água, sobre diferentes superfícies vegetais. Foram realizados experimentos para avaliações de tensão superficial, ângulo de contato, área molhada pela gota e espectro do tamanho de gotas produzidas pela ponta XR 11002 das diferentes caldas fitossanitárias. As superfícies analisadas foram folhas de citros, café, milho, soja, algodão, cana, vidro e parafilme. O delineamento foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial 2 (fungicidas) x 5 (adjuvantes) + 1 (água) para as variáveis tensão superficial e espectro de tamanho de gotas e 2(fungicidas) x 2 (superfícies abaxiais e adaxiais) x 5 (adjuvantes) + 1 (água) para as variáveis ângulo de contato e área molhada de gotas considerando as superfícies adaxiais e abaxiais de cada espécie, Para comparar as diferentes superfícies vegetais e artificiais foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com oito tratamentos representados pelas superfícies utilizando água, e as caldas com fungicidas sem adjuvantes separadamente. Os valores dos dados obtidos submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O uso de adjuvantes associados às caldas fungicidas promoveu reduções nos valores de tensão superficial com consequência no aumento de tamanho de gotas evitando, assim, maiores perdas por deriva, além de melhorar a uniformidade das gotas. Verificou-se que o uso dos adjuvantes em associação com os fungicidas contribuem com a redução do ângulo de contato das gotas melhorando o espalhamento sobre as diferentes superfícies, com destaque ao adjuvante siliconado. As folhas de soja se destacaram por apresentarem o menor espalhamento de gotas sobre sua superfície adaxial e abaxial seguida pelas superfícies de citros, parafilme, cana, café algodão, milho e vidro. A ocorrência de diferenças de espalhamento entre as superfícies adaxiais e abaxiais bem como a sua intensidade dependem da espécie vegetal e do produto utilizado.

**Palavras-chave:** Tecnologia de Aplicação, tensão superficial, ângulo de contato, área molhada,

## **SPREADING OF FUNGICIDE DROPLETS IN ASSOCIATION WITH ADJUVANTS ON VEGETABLE AND ARTIFICIAL SURFACES**

**ABSTRACT** - The studies and researches in Application Technology are important to improve the application of spraying liquids in Brazil and in the world. Knowing the effect of spraying liquids containing different plant protection products and adjuvants in relation to different leaf surfaces is very important to position the best combinations of spraying liquids, in order to promote the desired effect of the droplet on the target. In this way, the present work had as objective to evaluate the spreading of spraying liquids containing two widely used fungicides in agriculture in association with adjuvants, besides water, on different vegetal and artificial surfaces. It were carried out experiments to analyse the surface tension, contact angle, droplet wet area and the droplet size produced by the XR 11002 tip of the different treatments. The analyzed surfaces were leaves of citrus, coffee, corn, soybean, cotton, cane, glass and parafilm. The design was entirely randomized in the 2 (fungicides) x 5 (adjuvants) + 1 (water) factorial scheme for the variables surface tension and droplet size and 2 (fungicides) x 2 (adaxial and abaxial surfaces) x 5 (adjuvants) + 1 (water) for the variables contact angle and wetted area of droplets considering the adaxial and abaxial surfaces of the leaves. In order to compare the different vegetal and artificial surfaces, a completely randomized design was used with eight treatments represented by the surfaces using water, and the fungicides without adjuvants separately. The values of the obtained data were submitted to the analysis of variance and the averages compared to each other by the Tukey's test ( $p < 0.05$ ). The use of adjuvants associated with the fungicidal spraying liquids promoted reductions in the values of surface tension with consequent increase in the droplet size, thus avoiding greater drift losses, besides improving the uniformity of the droplets. It has been found that the use of the adjuvants in association with the fungicides contributes to the reduction of the contact angle of the droplets improving the spreading, with emphasis on the siliconized adjuvant. The soybean leaves showed the smallest spreading of droplets on their adaxial and abaxial surface followed by the surfaces of citrus, parafilm, sugar cane, cotton, coffee, corn and glass. The occurrence of spreading differences between the adaxial and abaxial surfaces as well as their intensity depends on the plant species and the product used.

**KEYWORDS:** Application Technology, surface tension, contact angle, wetted area.

## **CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais**

### **1. Introdução**

A Tecnologia de Aplicação de produtos fitossanitários, sobretudo por via líquida, tem enfrentado há alguns anos uma pressão por parte dos usuários para aumentar o desempenho operacional, diminuir os volumes de aplicação e manter a eficiência biológica dos tratamentos, bem como por parte da sociedade para reduzir a contaminação ambiental (FERREIRA; LEITE; LASMAR, 2013). No Brasil ainda existe muito espaço para estudos e pesquisas relacionados à tecnologia de aplicação e, essa evolução tecnológica, será fundamental para enfrentar graves problemas devido às aplicações em larga escala, com volumes altos de calda e sob condições meteorológicas adversas.

O uso adequado e correto de tecnologias durante as pulverizações é de extrema importância. Erros na dosagem de produtos, escolha do volume de aplicação, da ponta de pulverização, do equipamento e do melhor momento para a realização do tratamento são só alguns dos problemas encontrados pelos agricultores. Visando minimizar os erros durante as aplicações, há uma série de desenvolvimentos recentes que buscam desde a adequação do equipamento ao formato das plantas até o tamanho ótimo das gotas, do espalhamento e deposição das caldas, por meio da seleção criteriosa das pontas de pulverização e de adjuvantes eventualmente utilizados (FERREIRA et al., 2013).

Quando misturados às caldas, alguns adjuvantes resultam em aumento do espalhamento das gotas sobre as superfícies tratadas. Deve-se ressaltar que cada adjuvante atua de forma diferente na tensão superficial, na viscosidade, na estabilidade e na afinidade dos líquidos entre si nas caldas e destas com as superfícies tratadas (CALORE et al., 2014). A partir destas características, o comportamento das gotas, do momento que são formadas nas pontas até a chegada e permanência no alvo, pode proporcionar maior ou menor evaporação, escorrimento, espalhamento, aderência, entre outros aspectos de modo a favorecer a eficácia da pulverização.

A superfície das folhas de diferentes espécies varia uma das outras, pois nas plantas encontram-se várias substâncias apolares, requerendo, dessa forma,

compatibilidade das caldas às características das plantas para que ocorra o efeito desejado de espalhamento ou de absorção (KISSMANN, 1998; COSTA et al. 2005). A superfície vegetal pode ser mais hidrofílica ou lipofílica de acordo com a quantidade de substâncias apolares existentes na mesma (IOST; RAETANO, 2010).

Portanto, conhecer o efeito de caldas contendo diferentes produtos fitossanitários e adjuvantes em relação a diferentes superfícies vegetais é muito importante para posicionar as melhores combinações de caldas, visando promover assim, o efeito desejado da gota no alvo.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o espalhamento de gotas de caldas fitossanitárias contendo dois fungicidas amplamente usados na agricultura, sobretudo para o controle da ferrugem asiática na soja, em associação com adjuvantes, além de água, sobre diferentes superfícies vegetais.

## **2. Revisão de Literatura**

### **Tecnologia de Aplicação de produtos fitossanitários**

A Tecnologia de Aplicação é um área de estudo multidisciplinar que abrange o controle de insetos, ácaros, plantas-daninhas e agentes patogênicos, além de considerar aspectos da biologia, química, engenharia, ecologia, sociologia e economia (MATUO, 1990; FERREIRA et al., 2007) e que pode ser definida como a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ambiental possível (MATUO, 1990).

O estudo da tecnologia de aplicação nas diferentes culturas é de extrema importância, pois é corrente a prática de taxas de aplicação elevadas por grande parte dos agricultores. Isto reflete em elevados custos operacionais e com produtos fitossanitários, com reflexos na sustentabilidade das culturas. Estes volumes elevados são praticados devido a fatores como a distribuição dos alvos acontecerem por toda a planta, com ênfase em locais de difícil acesso dos produtos fitossanitários.

Tradicionalmente, as aplicações são realizadas com pulverizadores que lançam a calda pulverizada de fora para o interior das plantas, a despeito de ocorrer, via de regra, uma elevada taxa de escoamento de calda das folhas na parte mais externa da planta (FERREIRA, 2003).

A intensidade de utilização dos produtos fitossanitários cresceu muito nos últimos anos, devido principalmente ao surgimento de pragas e doenças novas e à seleção de organismos resistentes em diversos cultivos. Para estas aplicações a taxa de aplicação tende a diminuir, sendo utilizados menores tamanhos de gotas, mesmo em períodos de menor umidade relativa do ar, sendo necessário fazer uso de estratégias para manutenção da viabilidade das gotas (FERREIRA, 2003). Entretanto, tem-se dado muita atenção aos produtos fitossanitários em relação às técnicas de aplicação.

É fundamental conhecer a melhor forma de aplicação para uma determinada situação, do contrário o controle possivelmente não será satisfatório. A melhor maneira de evitar perdas e ter um controle eficiente é fazer com que o produto atinja o alvo, sendo muito importante a uniformidade na aplicação e o adequado espectro de gotas (CUNHA et al., 2003).

Os principais fatores que influenciam nos processos de perdas durante a aplicação de um produto fitossanitário são deriva, a evaporação (COMBELLACK, 1981), além de ricocheteio e escoamento (DECARO et al., 2016). Dessa forma, deve-se tomar cuidado para que não sejam produzidas gotas muito grandes nem muito pequenas, dependendo do seu alvo. Gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  estão mais sujeitas a perdas por deriva enquanto que gotas maiores que 800  $\mu\text{m}$  estão mais sujeitas a perdas por escoamento superficial (LEFEBVRE, 1989). Outras perdas como: volatilização, fotólise e perdas em função da incidência de chuvas também são recorrentes. Decaro et al. (2016) mostra que chuvas até 6 horas após a pulverização pode remover mais de 60% dos produtos aplicados.

Conhecer o alvo é muito importante para saber se o tratamento necessita de um volume maior ou menor de aplicação. No controle de doenças, por exemplo, a cobertura foliar requerida é maior quando comparado ao controle de insetos e plantas daninhas, a fim de que o alvo, representado pelo patógeno, possa ser atingido. Contudo, mesmo que a recomendação inclua o uso de gotas pequenas

(100 a 200  $\mu\text{m}$ ), a aplicação poderá necessitar de gotas com diâmetro maior devido às condições meteorológicas desfavoráveis no momento de pulverizar (MINGUELA; CUNHA 2010).

Portanto, é fundamental que os conhecimentos relacionados à tecnologia de aplicação sejam bem desenvolvidos e levados aos agricultores que, através do manuseio adequado das máquinas e equipamentos de pulverização, possam minimizar ao máximo suas perdas, tornando a atividade mais sustentável, com menor custo econômico e ambiental, garantindo a eficácia do produto fitossanitário.

### **Uso de adjuvantes e comportamento da calda em diferentes superfícies foliares**

Atualmente, o emprego de adjuvantes tem sido um assunto de grande interesse para produtores agrícolas devido às melhorias propostas à aplicação de produtos fitossanitários como a proteção das gotas e das moléculas químicas, a redução de deriva e da evaporação, o melhor espalhamento das gotas e uma possível melhora na absorção da calda (FERREIRA, 2010, IOST, 2008). Porém, o seu uso inadequado e a falta de conhecimento podem gerar algumas dúvidas e controvérsias. Todavia, tem-se expandido significativamente o número de produtos comerciais em razão do interesse crescente pelo seu uso (ARAÚJO & RAETANO, 2011).

Os adjuvantes são substâncias ou compostos, sem propriedade fitossanitária, cuja função é proporcionar melhorias nas caldas aumentando a eficiência ou modificando determinadas características da solução, facilitando, assim, a pulverização e minimizando possíveis problemas (KISSMANN, 1997).

Dentre os efeitos dos adjuvantes, destaca-se a redução da tensão superficial das gotas pulverizadas, diminuindo a força de ligação entre as moléculas na gota, o que aumenta a sua superfície de contato com o alvo biológico e melhora a cobertura deste. A tensão superficial refere-se às forças que existem na interface de líquidos não miscíveis, impedindo que eles se misturem (AZEVEDO, 2001, MONTÓRIO, 2001). Além disso, a adição de adjuvantes à calda de pulverização pode alterar o espectro das gotas pulverizadas, reduzindo o risco potencial de deriva (WOLF,

2000). KISSMAN (1998) explica que o uso de óleos em associação com as caldas resulta em maior proteção da gota pulverizada, diminuindo perdas por evaporação em condições climáticas desfavoráveis.

Na aplicação de produtos fitossanitários, a água é o veículo mais importante, sendo também um solvente universal de moléculas polarizadas. Entretanto, apresenta baixa adesão com a cutícula das plantas e alta tensão superficial (72,6 mN/m), impedindo um bom espalhamento da calda após a aplicação (MONTÓRIO, 2001).

Quando em contato com a superfície vegetal, a cutícula irá agir como uma barreira para a penetração de líquidos nas plantas. As características destas superfícies variam de espécie para espécie dependendo também das condições climáticas (QUIEROZ; MARTINS; CUNHA, 2008).

A superfície das folhas é envolvida pela cutícula, uma camada lipídica, extracelular, cujo principal componente estrutural é a cutina, um polímero insolúvel de ácidos graxos (LICHSTON; GODOY, 2006). Sobre a cutícula, deposita-se a cera foliar epicuticular, cuja concentração varia de acordo com a espécie vegetal, constituindo a interface natural entre as folhas e o meio, tendo como função básica conferir ao vegetal maior resistência à perda d'água e a doenças. Quimicamente, a cera foliar epicuticular é uma mistura complexa de constituintes químicos, com predominância de alcanos, ésteres, cetonas e álcoois (SHEPHERD et al., 1995).

A retenção de líquido de pulverização também é influenciada pela superfície da folha vegetal que pode ser lipofílica ou hidrofílica e com ou sem tricomas (XU et al., 2011).

As superfícies foliares de diferentes culturas variam em estrutura. A epiderme presente nas folhas como um sistema de revestimento, formada por células dispostas compactamente, apresenta cutículas e estômatos. Além disso, dependendo da espécie, pode-se encontrar material ceroso, a cutina, e tricomas (ESAU, 1974) os quais provavelmente afetarão o espalhamento da calda quando em contato com estas superfícies.

### **3. Referências**

ARAÚJO, D. de; RAETANO, C. G. Adjuvante de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Editora: Fepaf. Botucatu, SP. 2011. 279 p

AZEVEDO, L. A. S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. Campinas, SP: Emopi Gráfica, 2001. 230 p.

CALORE, R. A.; FERREIRA, M. C.; GALLI, J.C. Efeitos de adjuvantes no controle de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: tryptidae) na cultura do amendoim. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. Recife, v.10, n.1, p.74-81, 2015.

CALORE, R. A.; FERREIRA, M. C.; RODRIGUES, N. E. L.; OTUKA, A. K. Effect of herbicides associated with adjuvants in surface tension and contact angle in leaves of *Ipomoea hederifolia*. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 122, p. 425-420, 2014.

COMBELLACK, J. H. The problems involved in improving spraying efficiency. **Australian Weeds**, Victoria, v.1, p.13-9, 1981.

COSTA, N.V., MARTINS, D., RODELLA, R.A; COSTA, L.D.N.C. PH FOLIAR E DEPOSIÇÃO DE GOTAS DE PULVERIZAÇÃO EM PLANTAS DANINHAS AQUÁTICAS: *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripara* E *Panicum repens*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 295-304, 2005.

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

DECARO R. A.; DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C. Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain. **Ciência Rural**, v. 46, n. 1, p.13-19, 2016.

ESAU, K. **Anatomia de plantas com sementes**. Tradução: MORRETE, B. L. São Paulo: Blucher, 1974, 201p.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1539-1548, Nov. 2013.

FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JUNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO, L. H. 2013. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1431-1440, 2013. Suplemento 1.

FERREIRA, M. C. **Padrão do jato aspergido, arraste e distribuição de gotas em função da adição de adjuvantes à calda e à pressão de trabalho com diferentes pontas de pulverização de energia hidráulica**. 2010. 73 f. Tese (Livre Docência

em Tratamento Fitossanitário) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010

FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.

FERREIRA, M. C. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (G., 1939) em citros**. 2003. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2003.

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

IOST, C. A. R. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

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

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21. 1997, Caxambu. Palestras e mesas redondas... Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.

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

LICHSTON, J. E.; GODOY de, S. A. P. Morfologia e teor de cera de folhas de café após aplicação de fungicida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.6, p.919-926, 2006.

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

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

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

QUEIROZ, A. A.; MARTINS, J. A. S.; CUNHA, J. P. A. R.; Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.4, p.8-19, 2008.

SHEPHERD, T.; ROBERTSON, G.W.; GRIFFITHS, D.W.; BIRCH, A.N.E.; DUNCAN, G. Effects of environment on the composition of epicuticular wax from kale and swede. **Phytochemistry**, v.40, p.407-417, 1995.

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

XU, L.; HU, H.; OZKAN, H. E.; BAGLEY, W. E.; KRAUSE, C. R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with the type and concentration of adjuvants. **Pest Management Science**, Chichester, v. 67, n. 7, p. 842–851, 2011.

## **CAPÍTULO 2 - ATUAÇÃO DE ADJUVANTES NAS VARIÁVEIS TENSÃO SUPERFICIAL E ESPECTRO DE TAMANHO DE GOTAS EM CALDAS FÚNGICAS**

**RESUMO** - A tensão superficial e tamanho de gotas são fatores importantes para a formação, transporte e deposição de gotas de caldas fitossanitárias sobre os alvos, pois afetam a segurança da aplicação e a eficiência de controle. Estes fatores se alteram em função da adição de adjuvantes no tanque do pulverizador. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar como e quanto os adjuvantes atuam em caldas fungicidas nas variáveis tensão superficial e tamanho de gotas. Para tanto, foram utilizados dois fungicidas individualmente e com adição de quatro adjuvantes, e apenas água (delineamento inteiramente ao acaso no esquema fatorial 2x5+1). Foram realizadas avaliações de tensão superficial das caldas e do tamanho de gotas (DMV, %VOL<100µm, SPAN). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). Os adjuvantes atuaram na redução da tensão superficial das caldas, com destaque para o siliconado. A redução na tensão superficial promovida pelos adjuvantes explica em torno de 80% o aumento do tamanho das gotas e redução da porcentagem de volume em gotas menores que 100 µm.

**Palavras-chave:** Deriva, óleo mineral, ponta de jato plano, surfatantes, uniformidade de gotas.

## **ADJUVANTS ACTUATION IN VARIABLES SURFACE TENSION AND SPECTRUM OF DROPLETS SIZE OF FUNGICIDAL SPRAYING LIQUIDS**

**ABSTRACT** - The surface tension and droplet size are fundamentally important factors for the formation, transport and deposition of spraying liquids droplets on the targets, once they affect the safety of the application and the control efficiency. These factors change depending on the addition of adjuvants in the sprayer tank. In this context, the objective of this work was to evaluate how and how much the adjuvants act in fungicidal spraying liquids on the variables surface tension and droplet size. For this, two fungicides were used individually with four adjuvants, and water as control (completely randomized design in factorial scheme  $2 \times 5 + 1$ ). Evaluations of Surface tension of the spraying liquids and the droplet size (VMD, %<100 $\mu\text{m}$ , Span) were performed. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Tukey's test ( $p < 0.05$ ). The adjuvants promoted reduction of the surface tension of the spraying liquids, with emphasis on the silicone adjuvant. The reduction in the surface tension promoted by the adjuvants explains about 80% the increase of the droplets size and the reduction of the percentage of volume of droplets smaller than 100  $\mu\text{m}$ .

**Key-words:** Drift, mineral oil, Flat fan nozzle, surfactant, droplets uniformity.

## **INTRODUÇÃO**

O preparo da calda de pulverização envolve a mistura de um produto fitossanitário com um diluente. A água é o diluente mais utilizado, devido à sua facilidade de obtenção e menor custo, comparada a outras opções.

Entretanto, a água apresenta limitações como a elevada tensão superficial, devido a fortes forças de ligação por pontes de hidrogênio entre suas moléculas (Hewitt, 2008). Dessa forma, as caldas fitossanitárias tendem a manter altos os valores de tensão superficial, implicando em desvantagem para as pulverizações devido ao espalhamento reduzido das gotas sobre as superfícies vegetais, com implicações sobre a eficácia, principalmente de inseticidas e fungicidas (Iost & Raetano, 2010; Vasil'ev & Mariorova, 2014). Para vencer esta limitação, as formulações de produtos fitossanitários possuem quantidades variáveis de surfatantes e é crescente a utilização de adjuvantes adicionados ao tanque dos pulverizadores.

Diante disto, o uso de adjuvantes tem sido um assunto de grande interesse devido às melhorias propostas à aplicação de produtos fitossanitários como: a proteção das gotas e das moléculas químicas à degradação físico-química, a redução de deriva e da evaporação, redução da tensão superficial e melhor espalhamento das gotas (Cunha & Alves, 2009; Ferreira et al., 2013; Decaro Junior et al., 2014).

Alguns trabalhos mostram o efeito de características como tensão superficial no tamanho de gotas pulverizadas. Dependendo do modelo de ponta de pulverização, as modificações das características físicas da calda podem aumentar ou diminuir o tamanho das gotas (OLIVEIRA et al., 2010; GANDOLFO et al., 2013).

Como a porcentagem de volume em gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  e a uniformidade do tamanho das gotas interferem nas perdas por deriva e nos ajustes do volume de aplicação em campo (Di Oliveira et al., 2010), adjuvantes que auxiliam na produção do tamanho de gota poderá contribuir para a qualidade, segurança e economicidade das aplicações.

No entanto, pouco se sabe a respeito de sua associação com um ou mais produtos fitossanitários e fertilizantes foliares utilizados no campo, usualmente adicionados ao tanque do pulverizador e as mudanças resultantes para as características da calda.

Sendo assim, entender melhor como e quanto os adjuvantes atuam nas caldas, pode contribuir para melhorar as aplicações de produtos fitossanitários no campo.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar como e quanto os adjuvantes atuam em caldas fungicidas nas variáveis tensão superficial e tamanho de gotas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

No preparo das caldas utilizou-se água da rede de abastecimento, proveniente de poço artesiano (pH = 8,4; condutividade elétrica = 172  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Os produtos utilizados foram os fungicidas azoxistrobina + mancozebe (Unizeb Glory<sup>®</sup>, WG, UPL do Brasil) na dosagem de 2 kg ha<sup>-1</sup> e o azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus<sup>®</sup>, WG, Syngenta) na dosagem de 200 g ha<sup>-1</sup>. Os adjuvantes utilizados foram o copolímero de poliéter e silicone (Silwet<sup>®</sup> L-77 AG, DC, MOMENTIVE LTDA.) na dosagem de 0,1 mL de produto por 1 L de água; o óleo mineral (Agris<sup>®</sup>, EC, UNION AGRO LTDA.) na dosagem de 5 mL de produto por 1 L de água; os fertilizantes nitrogenados com manganês (Wuxal<sup>®</sup> Manganês 8,1% de Mn e 4% de N, EC, UPL do Brasil) na dosagem de 750 mL de produto por 100 L de água; e com fósforo (Agetec<sup>®</sup> 4% de N e 12% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, EC, UPL do Brasil) na dosagem de 25 mL de produto por 100 L de água (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das caldas fitossanitárias utilizadas no experimento.

| Calda | Fungicida      | Adjuvante               |
|-------|----------------|-------------------------|
| 1*    | -              | -                       |
| 2     | Azo. + man.**  | -                       |
| 3     | Azo. + man.    | Fertilizante - P        |
| 4     | Azo. + man.    | Fertilizante - Mn       |
| 5     | Azo. + man.    | Óleo mineral            |
| 6     | Azo. + man.    | Cop. de pol. e sil.**** |
| 7     | Azo. + ben.*** | -                       |
| 8     | Azo. + ben.    | Fertilizante - P        |
| 9     | Azo. + ben.    | Fertilizante - Mn       |
| 10    | Azo. + ben.    | Óleo mineral            |
| 11    | Azo. + ben.    | Cop. de pol. e sil.     |

\* Somente água. \*\* Azoxistrobina + mancozebe. \*\*\* Azoxistrobina + benzovindiflupir. \*\*\*\* Copolímero de poliéter e silicone.

O óleo mineral escolhido (Agris<sup>®</sup>) tem efeito de aumentar a permeabilidade na folha e a penetração no tecido. O adjuvante siliconado apresenta pronunciado efeito espalhante. O Agetec<sup>®</sup> é um fertilizante foliar contendo garantias de nutrientes N e P, além de propriedade umectante e anti espumante. O Wuxal<sup>®</sup> Mn é um fertilizante foliar com garantias de nutrientes N e Mn, além de propriedade de quelatizante. Assim, a escolha por esses adjuvantes se deu porque eles possuem características bastante distintas umas das outras, fazendo valer no teste um adjuvante penetrante, um espalhante, um fertilizante umectante e um fertilizante quelatizado (UPL Crop Nutrition, 2017).

O delineamento experimental adotado para as avaliações foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial 2x5+1, com os valores submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O software utilizado para realizar a estatística foi o AgroEstat<sup>®</sup> (Barbosa & Maldonado Jr, 2015).

### **Análise da tensão superficial das caldas**

Alíquotas das caldas, previamente agitadas para homogeneização, foram retiradas com uma seringa Hamilton de 500  $\mu\text{L}$ . Esta foi acoplada ao injetor automático do equipamento Contact Angle System OCA 15 Plus (Data Physics Instruments Co.), equipado com câmera digital de alta resolução temporal e definição com 300 poses por segundo. As gotas foram formadas na ponta da agulha de diâmetro de 0,52 mm. A formação das gotas foi determinada pelo acionamento automático de peças móveis do injetor do tensiômetro que movimentam o êmbolo da seringa com o objetivo de obter volumes pequenos com precisão, comandada diretamente pelo software SCA20 do equipamento (Figura 1A e 1B).



**Figura 1.** **A.** Equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®) utilizado para medir a tensão superficial das caldas. **B.** Imagem capturada pelo software da gota pendente.

As gotas foram formadas com volumes de 3  $\mu\text{L}$ , visando evitar seu desprendimento da ponta da agulha. Os valores de tensão superficial foram mensurados segundo a segundo na unidade de  $\text{mN m}^{-1}$ .

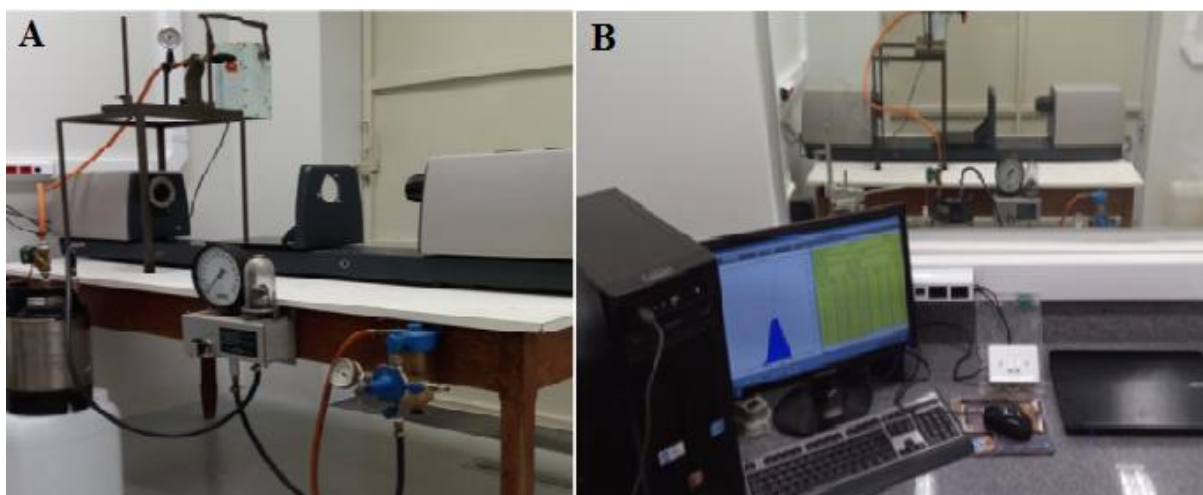
O experimento contou com 10 tratamentos, representados pelas caldas, mais uma testemunha, composta por água, em quatro repetições (Tabela 1). Em cada repetição, houve leitura por período de 60 segundos, totalizando 60 valores.

A tensão superficial decresce ao longo do tempo até o equilíbrio entre as interfaces (agulha-líquido-ar). Para efeito de comparação foi padronizado como valor útil de tensão

superficial o obtido aos 30 segundos, momento em que houve estabilização das leituras, com pequenas variações, para as caldas utilizadas no experimento.

### **Espectros do tamanho de gotas produzidas**

A determinação do tamanho da gota foi realizada utilizando-se um modelo de ponta de pulverização XR 11002 de jato plano estendido. Foi feita uma simulação de aplicação da velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  pulverizando-se  $200 \text{ L ha}^{-1}$  com pressão de 337 kPa e vazão de  $0,83 \text{ L min}^{-1}$  na ponta. O tamanho de diâmetro de gotas produzidas pelas diferentes caldas fitossanitárias foi determinado no analisador de tamanho de partículas Mastersizer S® (Malvern Instruments Co.) (figura 2A e 2B). Este método consiste na mensuração dos ângulos de difração do laser. Neste equipamento uma unidade óptica determina o diâmetro das gotas do espectro pulverizado, por meio do desvio de trajetória sofrido pelo laser ao atingi-las (CALORE et al, 2015). A distância da ponta de pulverização até o feixe de luz laser é de 40 cm seguindo as normas da FAO.



**Figura 2.** A. Analisador de tamanho de partículas Mastersizer S (Malvern Instruments Co). B. Software do equipamento.

A pulverização foi acionada com ar comprimido e mantida a pressão constante de 337 kPa para a pulverização. O jato de calda atravessou transversalmente o feixe de luz laser,

realizando-se uma amostragem significativa do jato pulverizado. Os valores obtidos do diâmetro mediano volumétrico (DMV: o tamanho da gota que divide o volume da calda pulverizada pela metade, sendo metade do volume formado com gotas menores do que a gota do DMV e a outra metade com gotas maiores); a porcentagem do volume com gotas menores que 100 µm (corresponde às gotas mais susceptíveis à deriva) e o coeficiente de uniformidade ( $SPAN = (DV_{0,9} - DV_{0,1}) / DMV$ : se refere à diferença numérica do diâmetro das gotas referente aos percentis de volume de 10 e 90%;  $DV_{0,1}$ : diâmetro da gota tal que 10% do volume de calda com gotas menores do que este;  $DV_{0,9}$ : diâmetro da gota tal que 90% do volume de calda com gotas menores do que este; em relação ao DMV). Quanto menor o valor resultante do coeficiente de uniformidade, mais uniformes são as gotas no jato de calda pulverizado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

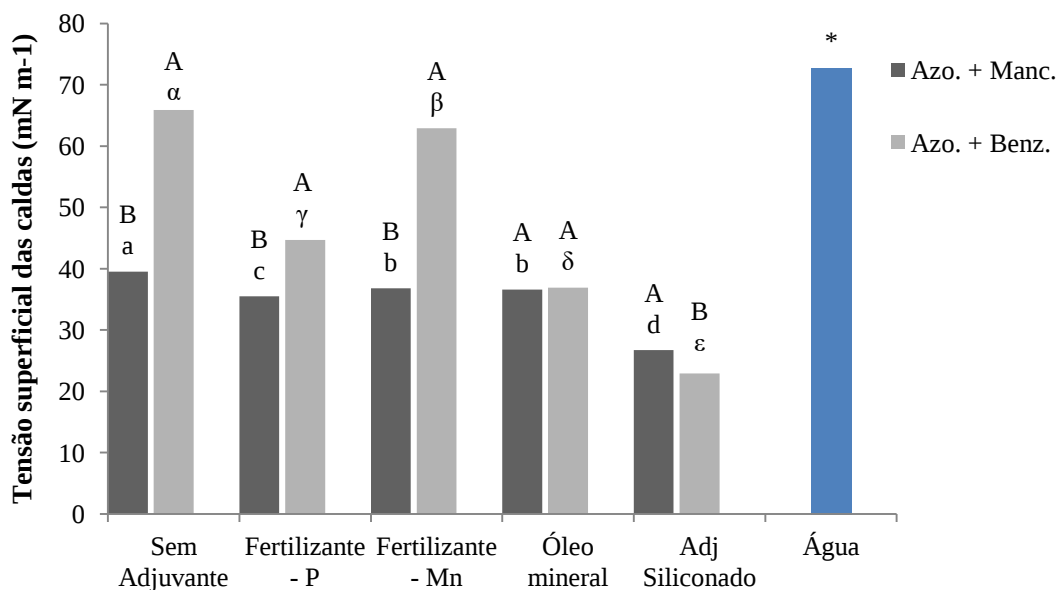
O uso de adjuvantes influenciou de forma significativa na tensão superficial das caldas fitossanitárias, bem como na correlação entre esse parâmetro com o tamanho de gota (DMV) e com a porcentagem do volume de gotas menores que 100 µm.

### **Tensão superficial das caldas**

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de tensão superficial (Figura 3). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou o maior valor na tensão superficial.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + mancozebe reduziu significativamente a tensão superficial em relação à calda sem adjuvante, sendo que o adjuvante siliconado promoveu o menor valor (32% de redução da tensão superficial em

relação à calda fungicida sem adjuvante), diferindo dos demais adjuvantes. Não houve diferenças significativas na redução da tensão superficial entre os adjuvantes fertilizante - P, fertilizante - Mn e óleo mineral, com reduções de 10%, 7,4%, e 6,8% na tensão superficial respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Tensão superficial média das caldas pulverizadas com e sem a adição de adjuvantes. CV(%) = 1,75. DMS=1,29. dms=1,85.

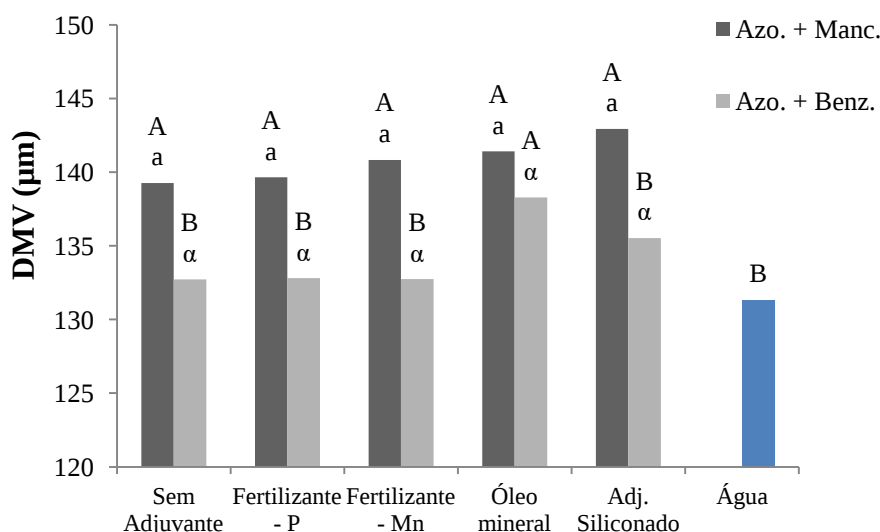
\* Diferente significativamente dos demais tratamentos.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de tensão superficial em comparação à calda sem adjuvantes. Todos os adjuvantes diferiram entre si na redução da tensão superficial. O adjuvante que promoveu o menor valor de tensão superficial foi o adjuvante siliconado com porcentagem de redução de 65%, seguido pelo óleo mineral (44%), pelo fertilizante - P (32%) e pelo fertilizante - Mn (4,5%) respectivamente.

### Caracterização do tamanho de gotas

Para o parâmetro DMV, as caldas contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o menor valor de DMV (Figura 4). O uso de adjuvantes em associação com o azoxistrobina + mancozebe não promoveu mudanças significativas no valor do DMV. As caldas constituídas do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir, com e sem adjuvantes, não diferiram significativamente da água, exceto para a calda em associação com o óleo mineral. O uso de adjuvantes em associação com este fungicida não promoveu mudanças significativas no valor do DMV (Figura 4).

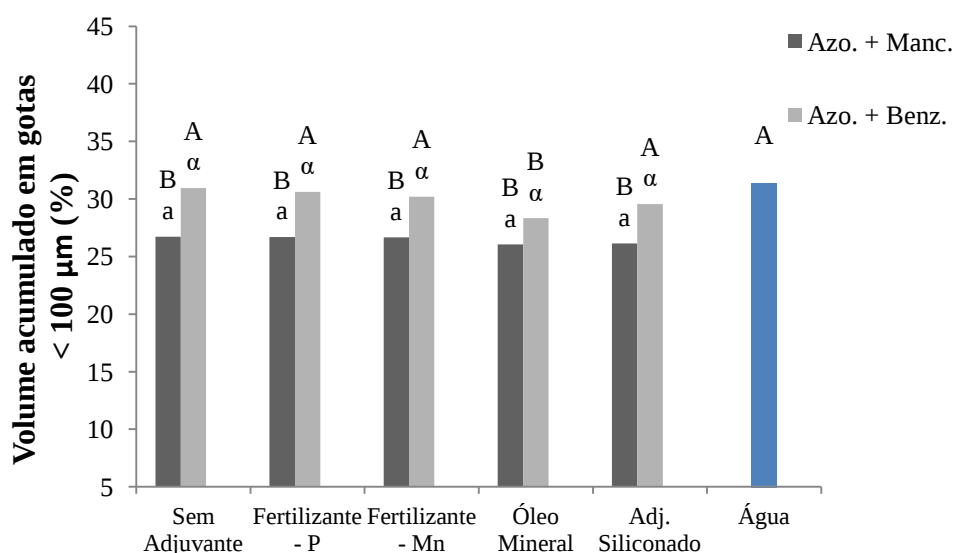


**Figura 4** - Diâmetro mediano volumétrico (DMV) CV=1,97. DMS=4.58; dms=6.55. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As caldas contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe diferiram significativamente das caldas contendo o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir, exceto quando misturados com o óleo mineral, em relação ao DMV e à porcentagem de gotas menores que 100 µm (Figura 4 e 5).

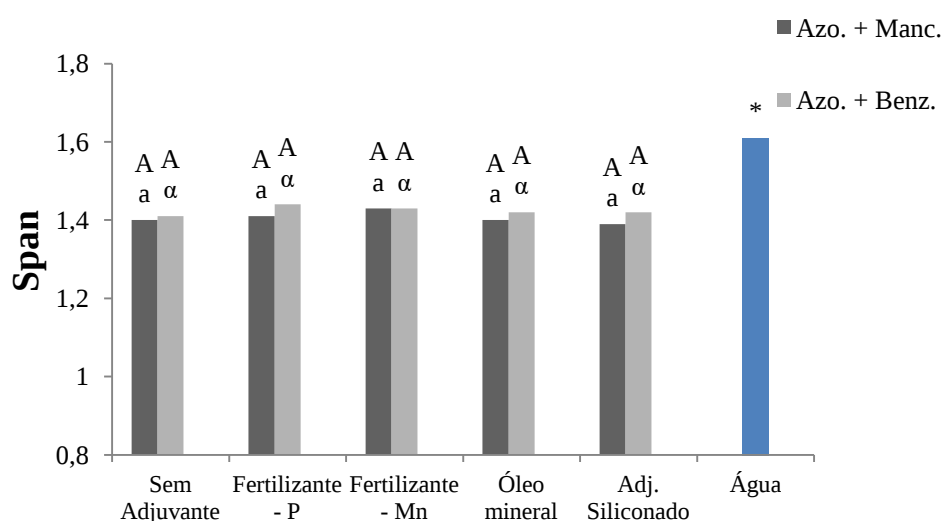
Em relação ao parâmetro percentual do volume em gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , as caldas contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou a maior porcentagem, ou seja, gotas mais sujeitas a perdas por deriva (Figura 5). O uso do fungicida azoxistrobina + mancozebe em associação com adjuvantes, não promoveu diferenças significativas neste parâmetro.

As caldas contendo o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir, com e sem adjuvantes, não diferiram significativamente da água, exceto para a calda em associação com o óleo mineral. O uso de adjuvantes em associação com este fungicida não promoveu mudanças significativas no valor percentual de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  (Figura 5).



**Figura 5** - Porcentagem do volume de gotas com tamanho inferior a 100  $\mu\text{m}$  (<100  $\mu\text{m}$ ) CV=4,78. DMS=2,3; dms=3,3. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

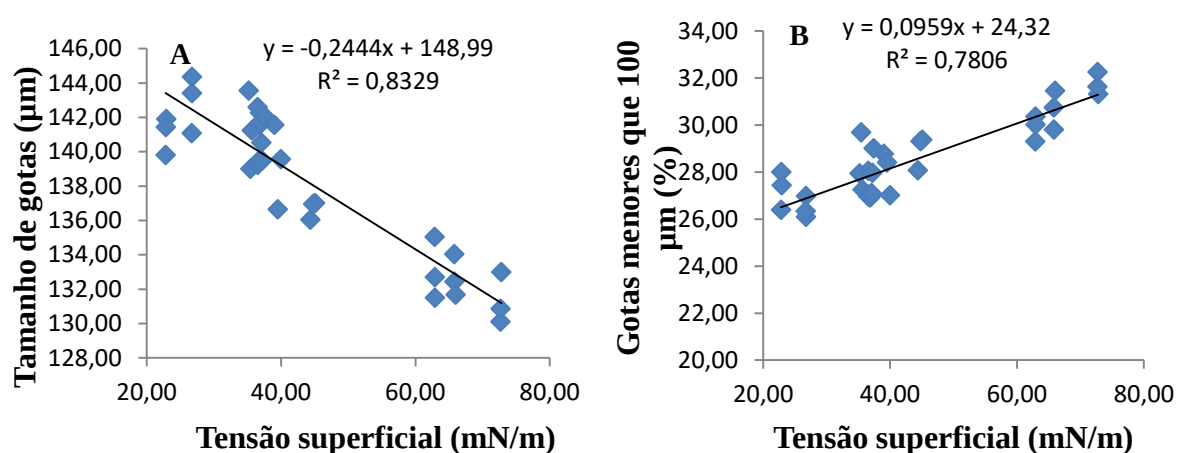
Para o parâmetro SPAN, todas as caldas contendo os produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor, ou seja, com menor uniformidade de gotas (Figura 6). Não houve diferenças significativas para este parâmetro entre as caldas fitossanitárias analisadas.



**Figura 6** - Coeficiente de uniformidade (Span) CV=2,56. DMS=0,089; dms=0,062.

\* Diferente significativamente dos demais tratamentos. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A partir de um estudo de correlação entre as variáveis analisadas neste trabalho, verifica-se que à medida que a tensão superficial é reduzida, o tamanho de gotas aumenta e a porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  diminuem com grau de confiança de 83% e 78% respectivamente ( $P < 0,01\%$ ) (Figura 7A e 7B).



**Figura 7. A.** Correlação entre as variáveis Tensão superficial (mN/m) e tamanho de gotas ( $\mu\text{m}$ ). **B** Correlação entre as variáveis Tensão superficial (mN/m) e porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ . Jaboticabal-SP, 2017.

A água é o veículo mais importante, sendo também um solvente universal de moléculas polarizadas (Matuo, 1990). Entretanto, apresenta fortes forças de ligação por pontes de hidrogênio entre suas moléculas (Hewitt, 2008; Iost & Raetano, 2010), o que explica seu elevado valor de tensão superficial.

Devido à presença de adjuvantes internos à formulação do fungicida comercial de azoxistrobina + mancozebe, na calda sem adição dos adjuvantes houve redução considerável na tensão superficial, em relação à água. Porém, apesar de promover reduções significativas na tensão superficial quando do uso de adjuvantes nas caldas contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe, esta redução não foi significativa quanto para as caldas contendo o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir em associação com adjuvantes. Como os produtos comercializados já possuem adjuvantes em sua formulação, o seu uso associado com outros adjuvantes pode não resultar em modificações expressivas na tensão superficial (Decaro Junior et al., 2014).

Para o óleo mineral, as reduções na tensão superficial para as duas caldas fungicidas possivelmente deveram-se à formação de micelas (agregado de moléculas com características polares e apolares simultaneamente) pelas moléculas do óleo mineral na calda (Iost & Raetano, 2010; Gimenes et al., 2013). Estas ligações podem atuar como ponte entre moléculas de água e do fungicida o que reduz a tensão superficial da calda, substituindo ligações mais fortes representadas por pontes de hidrogênio da água (Xu et al., 2011).

O produto fertilizante - P (umectante e anti-espumante) e o fertilizante - Mn (quelatizante) são classificados como fertilizantes foliares que possuem características adjuvantes o que pode ter contribuído para a redução da tensão superficial. O efeito surfactante do adjuvante siliconado (Silwet®) resultou em diminuição dos valores de tensão superficial das caldas sendo frequente que os organossiliconados possuam a maior capacidade

de redução da tensão superficial da água, em relação aos demais grupos de adjuvantes, chegando a valores próximos a  $20 \text{ mN m}^{-1}$  (Iost & Raetano, 2010; Decaro et al, 2016). Isto ocorre por que este grupo de adjuvantes possui elevada capacidade de reduzir as forças de ligação entre as moléculas no líquido (Iost & Raetano, 2010).

Com relação ao parâmetro DMV, o uso de adjuvantes não resultou em diferenças significativas dentre os tratamentos com fungicidas nas dosagens recomendadas pelo fabricante. Dependendo do tipo de ponta utilizada, o adjuvante poderá ter capacidade de reduzir ou aumentar o DMV das gotas pulverizadas (Ferreira et al., 2009). Encontra-se na literatura grande diferença quanto ao desempenho de diferentes modelos de ponta de pulverização quando há presença de adjuvante na calda.

Grande parte dos adjuvantes com função de espalhante tem em sua composição propriedades redutoras de tensão superficial. Essa, por sua vez, pode levar também à diminuição ou aumento do tamanho de gotas. Entretanto, a intensidade deste processo não é muito grande e irá variar de acordo com a ponta empregada (Bueno et al., 2013). Esse fato ajuda a explicar o comportamento apresentado pela ponta estudada no presente trabalho.

O uso de adjuvantes à base de óleo mineral ou vegetal com outros modelos de pontas de pulverização aumenta o diâmetro das gotas produzidas e diminui o potencial de deriva (Chechetto et al., 2013; Ferreira et al., 2013; Sasaki et al., 2013; Madureira et al., 2015). Na pesquisa atual, apesar de não ter apresentado diferenças significativas entre os tratamentos com o uso de adjuvantes neste trabalho, houve tendência de aumento dos valores de DMV. Este aumento no diâmetro de gotas foi suficiente para implicar em correlação significativa com a tensão superficial. Para pontas de jato plano e de jato cônico vazio, já foram observados na literatura resultados de aumento no tamanho de gotas e redução de deriva, com o uso de surfatantes (Gandolfo et al., 2013).

Com relação ao parâmetro porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , corroborando com o resultado obtido para o DMV, o uso de adjuvantes também não promoveu diferenças significativas dentro dos tratamentos com fungicidas nas dosagens recomendadas pelo fabricante. O percentual de gotas sujeitas a deriva ( $\%Vol < 100 \mu\text{m}$ ) é influenciada pelo modelo da ponta de pulverização. Quanto menor essa porcentagem, menor o risco de deriva durante uma aplicação de produto fitossanitário, uma vez que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são mais propensas à deriva, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (Bueno et al., 2013).

O SPAN indica a uniformidade no diâmetro de gotas, de modo que, quanto mais próximo de zero, menor será a variação de diâmetro em relação ao DMV. O Span igual a zero indica a uniformidade absoluta. No caso deste trabalho, houve redução significativa do Span em todas as caldas em comparação com a água. Essa maior uniformidade é interessante, pois possibilita que aplicações sejam feitas com gotas de diâmetro mais próximo do escolhido, sem que haja gotas muito menores nem muito maiores, que podem se perder por deriva e por escorrimento, respectivamente (Ferguson et al., 2015). Vale ressaltar que quanto menor o tamanho da gota produzida, melhor é a cobertura proporcionada na aplicação. Considerando que este trabalho trata da aplicação de fungicidas, o aspecto da cobertura deve ser considerado. Por outro lado, com o aumento no diâmetro, menores serão as perdas de gotas por deriva (Matuo, 1990). Sendo assim, a uniformização promovida semelhantemente em todas as caldas, de fato se configura num resultado bastante interessante no aspecto da qualidade das aplicações.

Com relação à análise de correlação entre as variáveis, em trabalhos com diferentes bicos, reduções na tensão superficial da calda com uso de adjuvantes resultam em aumento do DMV das gotas pulverizadas para pontas sem indução de ar (Chechetto et al., 2013; Decaro

Junior et al., 2014) corroborando com os resultados obtidos neste trabalho. Esse fenômeno já foi verificado também para pontas com indução de ar (Mota & Antuniassi, 2013; Ferguson et al., 2016). Entretanto, tal fenômeno não apresenta uma regra. Muitos fatores podem mudar este padrão como, concentração de adjuvante, pressão de trabalho e vazão nominal da ponta, tipo de energia utilizada para geração de gotas, formulação dos produtos, entre outros fatores (Miller & Butler Ellis, 2000).

Miller & Butler Ellis (2000) relatam que este comportamento varia de acordo com cada ponta de pulverização, ou seja, nem sempre obedecendo a um padrão definido. Os mesmos autores ainda afirmam que a tensão superficial não é a única responsável pelo tamanho das gotas geradas, sendo que outros fatores, inerentes à formulação, podem influenciar no processo de geração das gotas. De acordo com Oliveira & Antuniassi (2012), os quais avaliaram diferentes parâmetros de pulverização como espectro de gotas, tensão superficial e a viscosidade de várias caldas de pulverização com e sem adjuvantes de diferentes formulações, observaram que a variável tensão superficial foi o parâmetro que menos influenciou a variabilidade dos resultados. No caso específico dos tratamentos avaliados na pesquisa atual, verificou-se no conjunto completo dos dados que a tensão superficial explicou aproximadamente 80% dos resultados de tamanho da gota e de porcentagem do volume com gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ .

Através da correta utilização dos adjuvantes, há uma melhoria, em muitos casos, da eficácia das aplicações. Contudo, a interação entre o produto fitossanitário e o adjuvante envolve aspectos químicos, físicos e fisiológicos, que necessitam de estudos específicos conforme a finalidade da utilização do adjuvante. Em alguns casos a indicação pode ser para a preservação das gotas em situações adversas de clima, como por exemplo em situação de baixa umidade relativa e de presença de ventos, onde a uniformização das gotas ganha

importância. Em outros casos, o que importa é a cobertura dos alvos, no qual a redução do tamanho das gotas e o seu espalhamento sobre a superfície é que são priorizadas. Tanto nestes exemplos, quanto em outros como à necessidade de absorção, a importância da realização de mais estudos nessa área para melhor compreensão das interações que ocorrem na calda e suas consequências sobre diferentes variáveis na aplicação.

## **CONCLUSÃO**

Os adjuvantes atuam na redução da tensão superficial das caldas, com destaque para o adjuvante siliconado.

A redução na tensão superficial promovida pelos adjuvantes explica em torno de 80% o aumento do tamanho das gotas e redução da porcentagem de volume em gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ .

## **AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos que contribuiu com o desenvolvimento da pesquisa.

## **REFERÊNCIAS**

- Barbosa JC, Maldonado Jr, W (2015) Experimentação Agronômica & Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal, Funep, p396.
- Bueno MR, Cunha JPAR, Roman RAA (2013) Tamanho de gotas de pulverização em diferentes condições operacionais por meio da técnica de difração do raio laser. Engenharia Agrícola 34(5):976-985.
- Calore RA, Ferreira MC, Galli JC (2015) Efeitos de adjuvantes no controle de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: trypidae) na cultura do amendoim. Revista Brasileira Ciências Agrárias 10(1):74-81.

- Chechetto RG, Antuniassi UR, Mota AAB, Carvalho FK, Silva ACA, Vilela CM (2013) Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. *Semina* 34:37-46.
- Cunha JPAR da, Alves GS (2009) Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. *Interciência* 34(9):655 - 659.
- Decaro Junior ST, Ferreira MC, Lasmar O, Campos HBN (2014) Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in coffee plantation. *Aspects of Applied Biology* 122:415-422.
- Decaro RA, Decaro Junior ST, Ferreira MC (2016) Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain. *Ciência Rural* 46(1):13-19.
- Ferguson JC, O'Donnell CC, Chauhan BS, Adkins SW, Kruger GR, Wang R (2015) Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. *Crop Protection* 76:1-6.
- Ferguson JC, Chechetto RG, O'Donnell CC, Dorr GJ, Moore JH, Baker GJ (2016) Determining the drift potential of Venturi nozzles compared with standard nozzles across three insecticide spray solutions in a wind tunnel. *Pest Management Science* 72:1460-1466.
- Ferreira MC, Lasmar O, Decaro Junior ST, Neves SS, Azevedo LH (2013) Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. *Bioscience Journal* 29(5):1431-1440.
- Ferreira MC, Fernandes AP, Román RAA (2009) Potencial de deriva das gotas grossas produzidas por pontas de pulverização de energia hidráulica, com caldas de diferentes adjuvantes. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Juazeiro, Petrolina. Anais... Juazeiro, Petrolina, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, Proceedings...
- Gandolfo MA, Chechetto RG, Carvalho FK, Gandolfo UD, Moraes ED de (2013) Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. *Revista Ciência Agronômica* 44(3):474-480.
- Giemenes MJ, Zhu H, Raetano CG, Oliveira RB (2013) Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. *Crop Protection* 44:84-90.
- Hewitt AJ (2008) Spray optimization through application and liquid physical property variables-I. *Environmentalist* 28:25-30.

Iost CAR, Raetano CG (2010) Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. *Engenharia Agrícola* 30(4):670-680.

Matuo T (1990) Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal, Funep, p139.

Madureira RP, Raetano CG, Cavalieri JD (2015) Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(2):180 – 185.

Mendonça CG de, Velini ED, Martins D (1999) Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. *Planta Daninha* 17(3):355-365.

Miller PCH, Butler Ellis MC (2000) Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection* 19:609-615.

Mota AAB, Antunias UR (2013) Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. *Energia na Agricultura* 28(1):1-5.

Oliveira RB, Antunias UR (2012) Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. *Energia na Agricultura* 27(1):138 – 149.

Oliveira JRG di, Ferreira MC, Román RAA (2010) Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. *Engenharia Agrícola* 30(1):92 - 99.

Sasaki RS, Teixeira MM, Alvarenga CB, Santiago H, Maciel CFS (2013) Spectrum of droplets produced by use of adjuvants. *Idesia* 31(1):27 – 33.

Vasil'ev AY, Maiorova AI (2014) Physical features of liquid atomization when using different methods of spraying. *High Temperature* 52(2):250-258.

Xu L, Zhu H, Ozkan HE, Bagley WE, Krause CR (2011) Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with the type and the concentration of adjuvants. *Pest Management Science* 67:842-851.

### **CAPÍTULO 3 - ESPALHAMENTO DE GOTAS DE CALDAS FUNGICIDAS ASSOCIADA A ADJUVANTES SOBRE SUPERFÍCIES VEGETAIS E ARTIFICIAIS**

**RESUMO:** O espalhamento das gotas sobre superfícies vegetais pode resultar em melhor eficiência da aplicação de fungicidas, sobretudo para produtos de contato, contribuindo com aumento da cobertura no alvo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o espalhamento de gotas de caldas fungicidas associadas a adjuvantes através das variáveis ângulo de contato e área molhada de gotas sobre diferentes superfícies vegetais e artificiais. Para tanto, foram utilizados dois fungicidas individualmente e com adição de quatro adjuvantes, e apenas água. O delineamento foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial 2(fungicidas) x 2 (superfícies abaxiais e adaxiais) x 5 (adjuvantes) + 1 (água). Para comparar as diferentes superfícies vegetais e artificiais foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com oito tratamentos representados pelas diferentes superfícies utilizando água, e as caldas com fungicidas sem adjuvantes separadamente. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Verificou-se que o uso dos adjuvantes em associação com os fungicidas contribuem com a redução do ângulo de contato das gotas melhorando o espalhamento sobre as diferentes superfícies, com destaque ao adjuvante siliconado. As folhas de soja se destacaram por apresentarem o menor espalhamento de gotas sobre sua superfície adaxial e abaxial seguida pelas superfícies de citros, parafilme, cana, café algodão, milho e vidro. A ocorrência de diferenças de espalhamento entre as superfícies adaxiais e abaxiais bem como a sua intensidade dependem da espécie vegetal e do produto utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ângulo de contato, área molhada, soja, surfactante, óleo mineral.

## **SPREADING OF FUNGICIDAL SPRAYING LIQUIDS DROPLETS ASSOCIATED TO ADJUVANTS ON VEGETABLE AND ARTIFICIAL SURFACES**

**ABSTRACT** - The spreading of the droplets on plant surfaces can result in better efficiency in the application of fungicides, especially for contact products, contributing to an increase in the coverage on the target. Thus, the aim of this work was to evaluate the spreading of fungicidal spraying liquids with adjuvants through the variables contact angle and wet area of droplets on different vegetal and artificial surfaces. For this, two fungicides were used individually and with the addition of four adjuvants, and only water. The design was entirely randomized in the 2 (fungicides) x 2 (adaxial and abaxial surfaces) x 5 (adjuvants) + 1 (water) factorial scheme. In order to compare the different vegetal and artificial surfaces, a completely randomized design was used with eight treatments represented by the surfaces using water, and the fungicides without adjuvants separately. The values of the obtained data were submitted to the analysis of variance and the averages compared to each other by the Tukey's test ( $p < 0.05$ ). It has been found that the use of the adjuvants in association with the fungicides contributes to the reduction of the contact angle of the droplets improving the spreading, with emphasis on the siliconized adjuvant. The soybean leaves showed the smallest spreading of droplets on their adaxial and abaxial surface followed by the surfaces of citrus, parafilm, sugar cane, cotton, coffee, corn and glass. The occurrence of spreading differences between the adaxial and abaxial surfaces as well as their intensity depends on the plant species and the product used.

**KEYWORDS** – Contact angle, wet area, soybean, surfactant, mineral oil.

### **1. Introdução**

Um dos grandes desafios atuais da Tecnologia de Aplicação de produtos fitossanitários é relacionar e associar informações das características físico-químicas de caldas fitossanitárias aos processos biológicos inerentes aos alvos naturais. Embora esta interação possa parecer simples de ser compreendida, é difícil isolar e entender cada efeito que interage. Quando as gotas atingem uma determinada superfície foliar, inicia-se um processo de interação gota-folha. Neste processo incluem a adesão, a área de molhamento, o ângulo de contato e a retenção foliar (WIRTH et al., 1991).

Os adjuvantes podem modificar as propriedades físico-químicas das caldas fitossanitárias diminuindo a tensão superficial e o ângulo de contato de gotas, além

de alterar a viscosidade, pH, condutividade elétrica e até a absorção dos produtos pela planta (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017).

Contudo, a escolha dos adjuvantes deve ser relacionada aos custos desses produtos e as condições meteorológicas durante as aplicações, uma vez que a adição de determinado adjuvante pode não ter o efeito desejado, devido à interação da calda fitossanitária com a superfície na qual foi depositada a gota (FERREIRA et al., 2011).

A característica de espalhamento de uma gota está intimamente ligada à redução do ângulo de contato desta sobre uma determinada superfície, sendo dependente das características anatômicas do alvo que variam de espécie para espécie (IOST; RAETANO, 2010).

O ângulo de contato é usado para caracterizar as gotas das caldas depositadas na superfície sólida e, quando o ângulo de contato é menor que 90°, a superfície é denominada hidrofílica, caso contrário é denominada de hidrofóbica (TANG; DONG; LI, 2008).

Diante do exposto, o desenvolvimento de trabalhos que avaliem a interação de produtos fitossanitários associados a adjuvantes, sobretudo para fungicidas que apresentam classe de contato com seu alvo, é importante para uma melhor recomendação do adjuvante, visto que o uso de adjuvante pode proporcionar maior espalhamento da gota sobre a superfície de diferentes espécies de plantas, e aperfeiçoar o controle.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o espalhamento de caldas fungicidas associadas a adjuvantes através das variáveis ângulo de contato e área molhada de gotas sobre diferentes superfícies vegetais e artificiais.

## **2. Material e Métodos**

O experimento foi realizado no Laboratório do Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação – NEDTA, pertencente ao Departamento de Fitossanidade, do Câmpus da UNESP de Jaboticabal-SP.

Foi avaliado o ângulo de contato e a área molhada de gotas nas superfícies adaxiais e abaxiais das seguintes espécies vegetais: café (*Coffea arabica*; variedade

Catuaí), citros (*Citrus sinensis*; variedade Pera), soja (*Glycine max*; variedade RR2 Pro Intacta), algodão (*Gossypium hirsutum*; variedade IMA 8276 LL), cana-de-açúcar (*Saccharum spp*; variedade RB86-7515) e milho (*Zea mays*; variedade DKB 390) importantes economicamente no Brasil, além de duas superfícies artificiais: parafilme (Parafilm M®), que é um termoplástico maleável, à prova d'água, inodoro, transparente e coesivo; e o vidro representada por uma lâmina de microscopia (Solidor®). Foram coletadas folhas de cada espécie vegetal no terço médio das plantas. Evitou-se a coleta de folhas muito velhas ou muito novas, estabelecendo-se um padrão.

No preparo das caldas utilizou-se água da rede de abastecimento, proveniente de poço artesiano (pH = 8,4; condutividade elétrica = 172  $\mu$ S/cm). Os produtos utilizados foram os fungicidas azoxistrobina + mancozebe (Unizeb Glory®, WG, UPL do Brasil) na dosagem de 2 kg ha<sup>-1</sup> e o azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatus®, WG, Syngenta) na dosagem de 200 g ha<sup>-1</sup>. Os adjuvantes utilizados foram o copolímero de poliéter e silicone (Silwet® L-77 AG, DC, MOMENTIVE LTDA.) na dosagem de 0,1 mL de produto por 1 L de água; o óleo mineral (Agris®, EC, UNION AGRO LTDA.) na dosagem de 0,5% (v v<sup>-1</sup>); os fertilizantes nitrogenados com manganês (Wuxal® Manganês 8,1% de Mn e 4% de N, EC, UPL do Brasil) na dosagem de 750 mL de produto por 100 L de água; e com fósforo (Agetec® 4% de N e 12% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, EC, UPL do Brasil) na dosagem de 25 mL de produto por 100 L de água (Tabela 1).

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

| Calda | Fungicida      | Adjuvante               |
|-------|----------------|-------------------------|
| 1*    | -              | -                       |
| 2     | Azo. + man.**  | -                       |
| 3     | Azo. + man.    | Fertilizante - P        |
| 4     | Azo. + man.    | Fertilizante - Mn       |
| 5     | Azo. + man.    | Óleo mineral            |
| 6     | Azo. + man.    | Cop. de pol. e sil.**** |
| 7     | Azo. + ben.*** | -                       |
| 8     | Azo. + ben.    | Fertilizante - P        |
| 9     | Azo. + ben.    | Fertilizante - Mn       |
| 10    | Azo. + ben.    | Óleo mineral            |
| 11    | Azo. + ben.    | Cop. de pol. e sil.     |

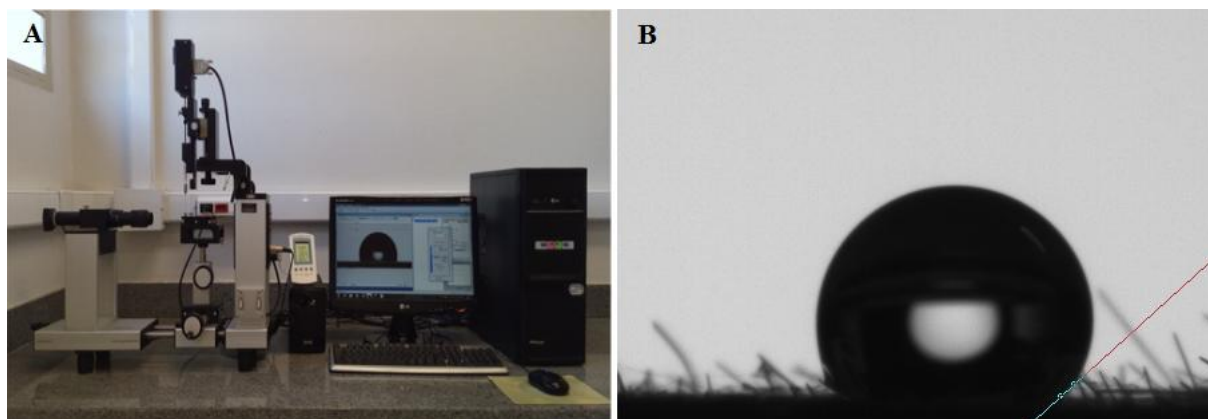
\* Somente água. \*\* Azoxistrobina + mancozebe. \*\*\* Azoxistrobina + benzovindiflupir.  
\*\*\*\* Copolímero de poliéter e silicone.

O óleo mineral escolhido (Agris®) tem função de aumentar a permeabilidade na folha e a penetração no tecido. O adjuvante siliconado apresenta pronunciado efeito espalhante. O Agetec® é um fertilizante foliar contendo garantias de nutrientes N e P, além de propriedade umectante e anti espumante. O Wuxal® Mn é um fertilizante foliar com garantias de nutrientes N e Mn, além de propriedade de quelatizante. Assim, a escolha por esses adjuvantes se deu porque eles possuem características bastante distintas umas das outras, fazendo valer no teste um adjuvante penetrante, um espalhante, um fertilizante umectante e um fertilizante quelatizado (UPL Crop Nutrition, 2017).

### **Ângulo de contato e área molhada de gotas**

Alíquotas das caldas, previamente agitadas para homogeneização, foram retiradas com uma seringa Hamilton de 500 µL. Esta foi acoplada ao injetor automático do equipamento Contact Angle System OCA 15 Plus (Data Physics Instruments Co.), equipado com câmera digital de alta resolução temporal e definição com 300 poses por segundo.

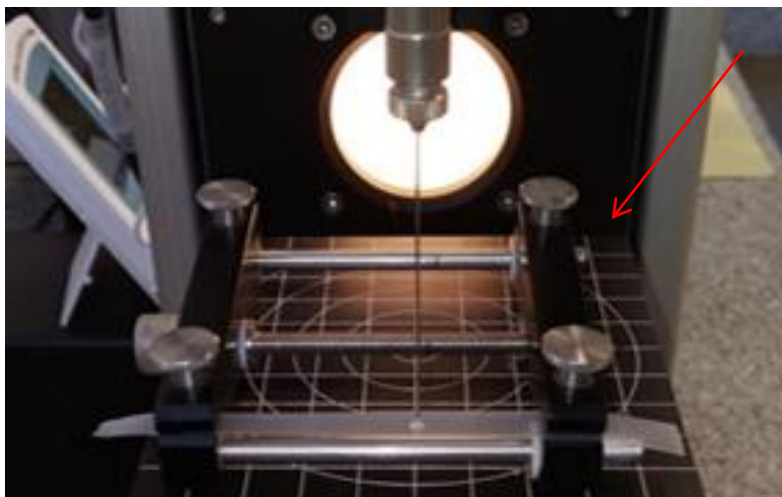
As gotas foram formadas na ponta da agulha de diâmetro de 0,52 mm. A formação das gotas foi determinada pelo acionamento automático de peças móveis do injetor do tensiômetro que movimentam o êmbolo da seringa com o objetivo de obter volumes pequenos com precisão, comandada diretamente pelo software SCA20 do equipamento (Figura 1A e 1B).



**Figura 1.** **A.** Equipamento tensiômetro (Contact Angle System OCA 15-Plus (Dataphysics®) utilizado para medir os valores de ângulo de contato de gotas. **B.** Gota de água depositada sobre superfície abaxial de folha de soja sendo analisada pelo software do equipamento.

As gotas com volumes de 3  $\mu\text{L}$  foram depositadas sobre as diferentes superfícies vegetais e artificiais estudadas no trabalho e os valores de ângulo de contato foram mensurados segundo a segundo. Para o manuseio foram utilizadas luvas de procedimento cirúrgico, para evitar o contato da pele humana com o limbo foliar.

As folhas foram dispostas sobre uma mini prensa para que suas superfícies ficassem planas e evitassem o escorrimento da gota após sua aplicação sobre a superfície das folhas (Figura 2).



**Figura 2** - Prensa utilizada para manter as superfícies planas ao receber as gotas da seringa do equipamento.

O ângulo de contato das gotas decresce ao longo do tempo. Para efeito de comparação foi padronizado como valor útil de ângulo de contato o obtido aos 30 segundos para todos os tratamentos.

Para realizar a análise da área molhada pelas gotas, as mesmas foram aplicadas individualmente pela microseringa do injetor automático do equipamento com volume fixo de 3  $\mu\text{L}$  sobre cada superfície adaxial e abaxial das diferentes culturas, incluindo a superfície de vidro e de parafilme.

As superfícies foram prensadas para que ficassem planas e, ao receber a gota, foram dispostas em um microscópio estereoscópico para que imagem da gota sobre a superfície fosse capturada. As gotas foram depositadas dentro de uma área de 81  $\text{mm}^2$  de superfície padronizada e coloridas para evidenciar o contraste com uso do software Adobe Photoshop® (Figura 3). As imagens obtidas foram analisadas pelo software Quant® que forneceu a porcentagem da área que estava sendo ocupada pela gota. Dessa forma, a partir da porcentagem ocupada pela gota dentro de 81  $\text{mm}^2$ , foi calculada a área da gota em  $\text{mm}^2$  por regra de três.



**Figura 33** - Gotas recebendo contraste pelo Adobe Photoshop<sup>®</sup> para serem analisadas no Quant<sup>®</sup> posteriormente.

O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso no esquema fatorial  $2 \times 2 \times 5 + 1$  para cada espécie vegetal comparando, assim, a superfície adaxial e abaxial, com os valores submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O software utilizado para realizar a estatística foi o AgroEstat<sup>®</sup>.

Em seguida, para comparar as diferentes superfícies vegetais e artificiais, foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com 8 tratamentos representados pelas superfícies, com os valores submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Este procedimento foi feito tanto para as superfícies adaxiais como para as superfícies abaxiais das espécies. As caldas utilizadas para esta comparação foram a água, a calda com o fungicida azoxistrobina + mancozebe e a calda com o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir separadamente.

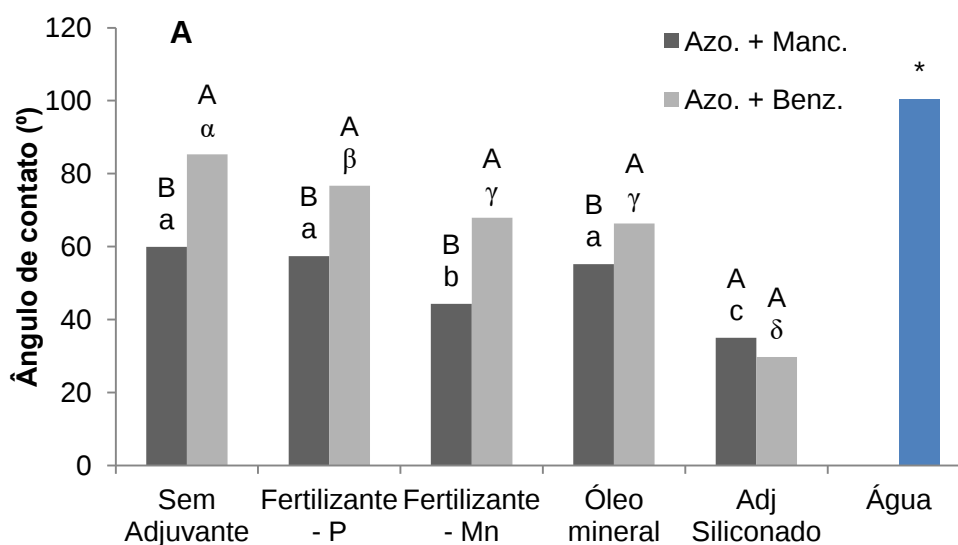
### 3. Resultados e Discussão

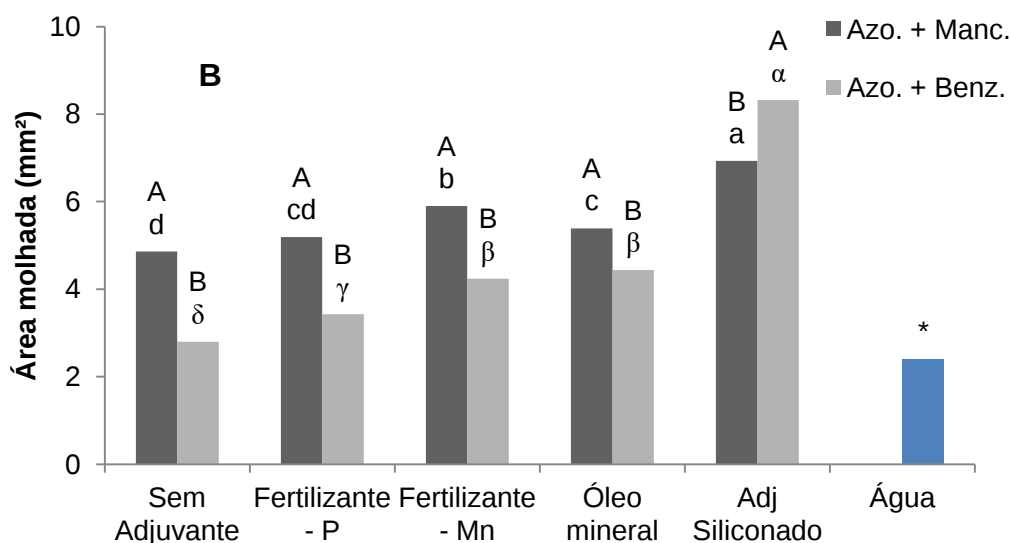
O ângulo de contato e a área molhada de gotas das caldas fitossanitárias variaram em função do uso de diferentes adjuvantes e das superfícies vegetais e artificiais utilizadas no experimento.

**Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de cana-de-açúcar**

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de cana-de-açúcar (Figura 4A e 4B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o uso de óleo mineral e do adjuvante siliconado houve redução significativa do ângulo de contato das gotas em relação aos demais, sendo que o adjuvante siliconado promoveu o menor valor diferindo do óleo mineral (Figura 4A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso de óleo mineral e do adjuvante siliconado, com destaque para este último (Figura 4B).

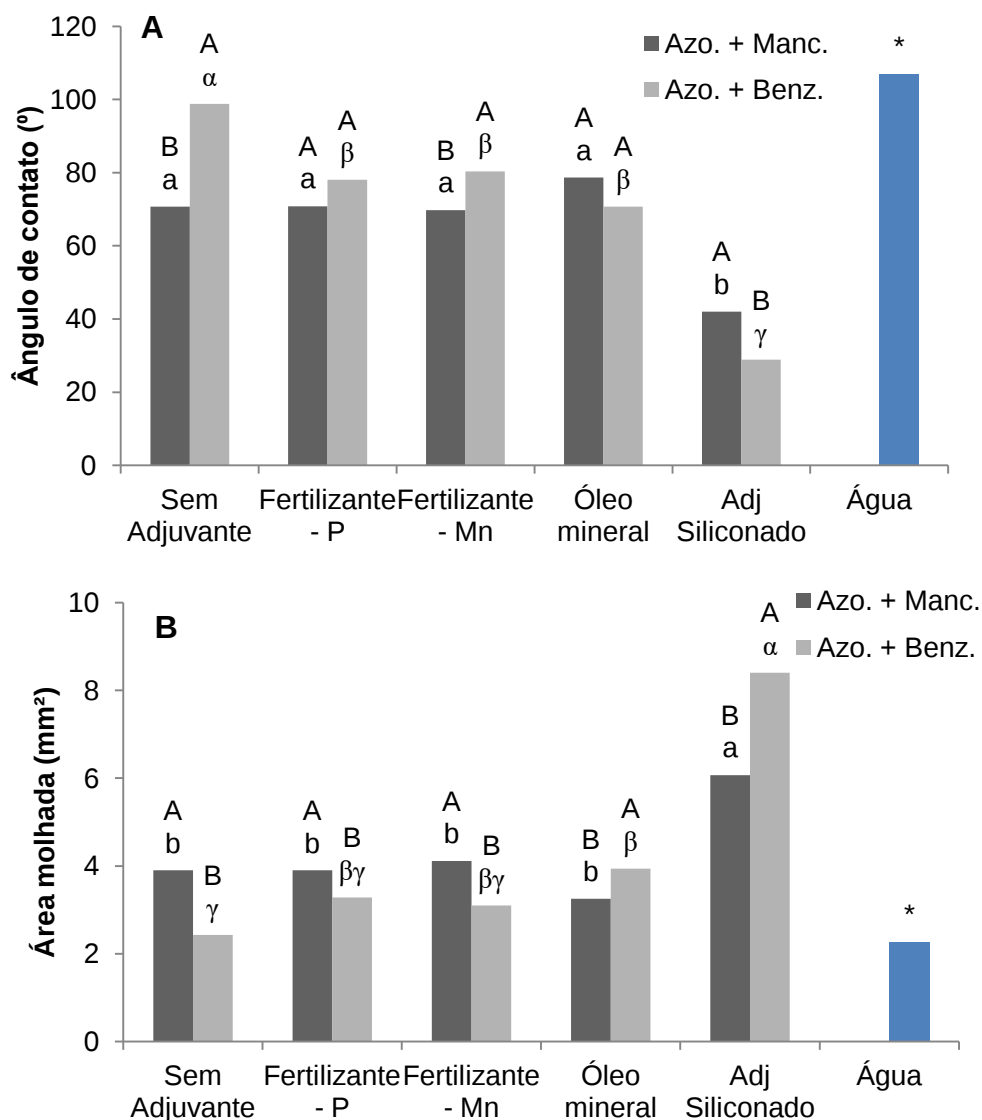




**Figura 4. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de cana-de-açúcar. CV(%) =5,43. DMS=0,31. dms=8,09. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de cana-de-açúcar. CV(%) =1,20. DMS=0,32. dms=0,50. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \* Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado (Figura 4A e 4B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de cana-de-açúcar, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 5A e 5B).



**Figura 5. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de cana-de-açúcar. CV(%) =6,95. DMS=8,09. Dms=12,19. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de cana-de-açúcar. CV(%) =1,24. DMS=0,14. dms=0,87. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \* Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o uso do adjuvante siliconado houve redução significativa do ângulo de contato das

gotas em relação aos demais (Figura 5A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso do adjuvante siliconado (Figura 5B).

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado (Figura 5A e 5B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais da cana-de-açúcar, notou-se que não houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água (Tabela 2). Contudo, em todas as caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, a superfície abaxial apresentou maiores valores de ângulo de contato e menores valores de área molhada. As caldas contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também não diferiram entre as duas superfícies quando se utilizou os adjuvantes fertilizante P, o óleo mineral e o organossiliconado (Tabela 2).

**Tabela 2** - Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de cana-de-açúcar.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |          | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|----------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL  | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 59,95 B    | 70,73 A  | 4,86 A                          | 3,90 B  |
| Fertilizante P  | 57,37 B    | 70,81 A  | 5,19 A                          | 3,90 B  |
| Fertilizante Mn | 44,31 B    | 69,76 A  | 5,90 A                          | 4,11 B  |
| Óleo Mineral    | 55,18 B    | 78,82 A  | 5,39 A                          | 3,25 B  |
| Siliconado      | 34,96 B    | 42,69 A  | 6,93 A                          | 6,07 B  |
| Azo. + Benz.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 85,27 B    | 98,81 A  | 2,80 A                          | 2,43 B  |
| Fertilizante P  | 76,69 A    | 78,04 A  | 3,43 A                          | 3,28 A  |
| Fertilizante Mn | 67,89 B    | 80,36 A  | 4,24 A                          | 3,10 B  |
| Óleo Mineral    | 66,33 A    | 70,69 A  | 4,43 A                          | 3,94 A  |
| Siliconado      | 29,71 A    | 28,84 A  | 8,32 A                          | 8,40 A  |
| Água            | 100,51 A   | 106,97 A | 2,40 A                          | 2,27 A  |
| CV              | 6,36       |          | 2,22                            |         |
| DMS             | 6,97       |          | 0,363                           |         |

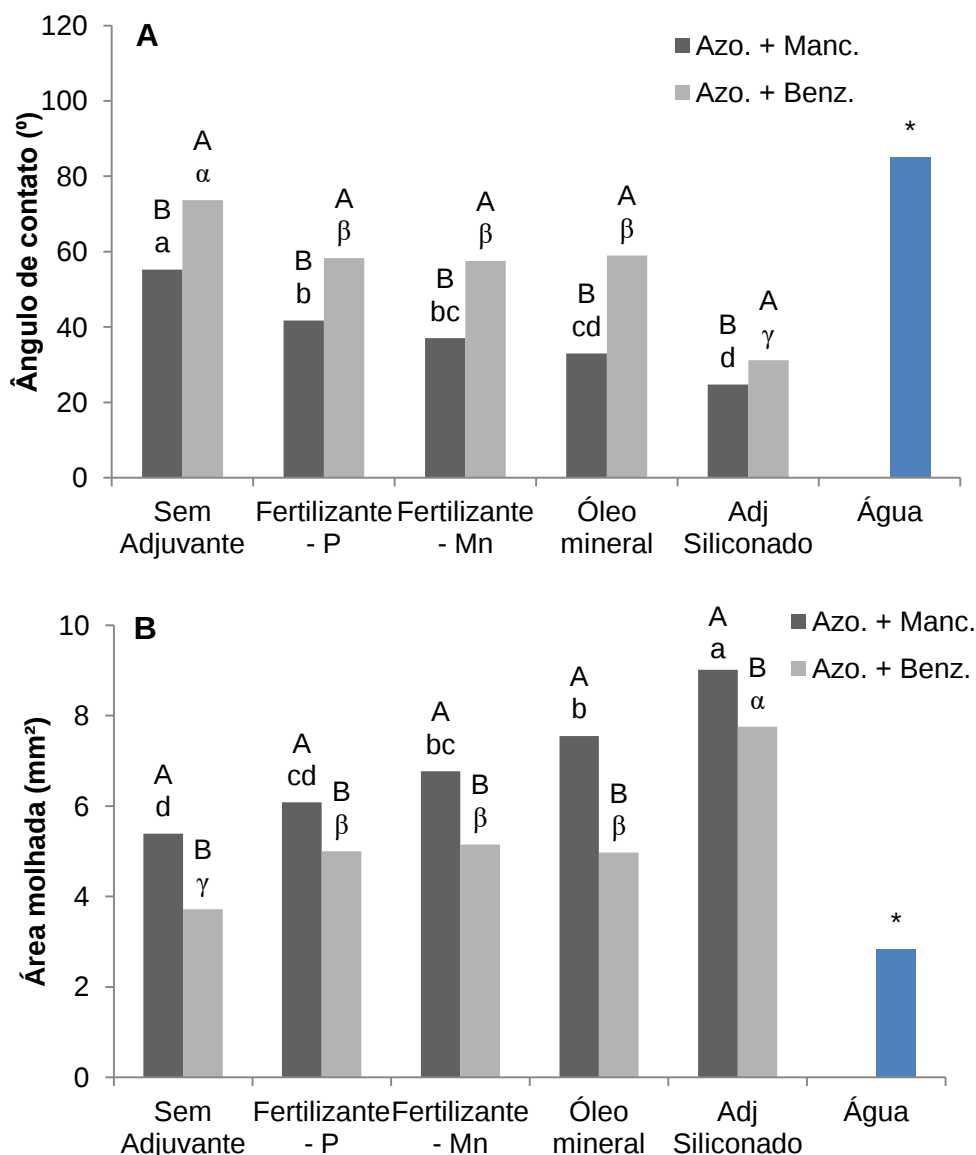
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de milho

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de milho (Figura 6A e 6B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso de adjuvantes promoveu reduções significativas do ângulo de contato das gotas, com

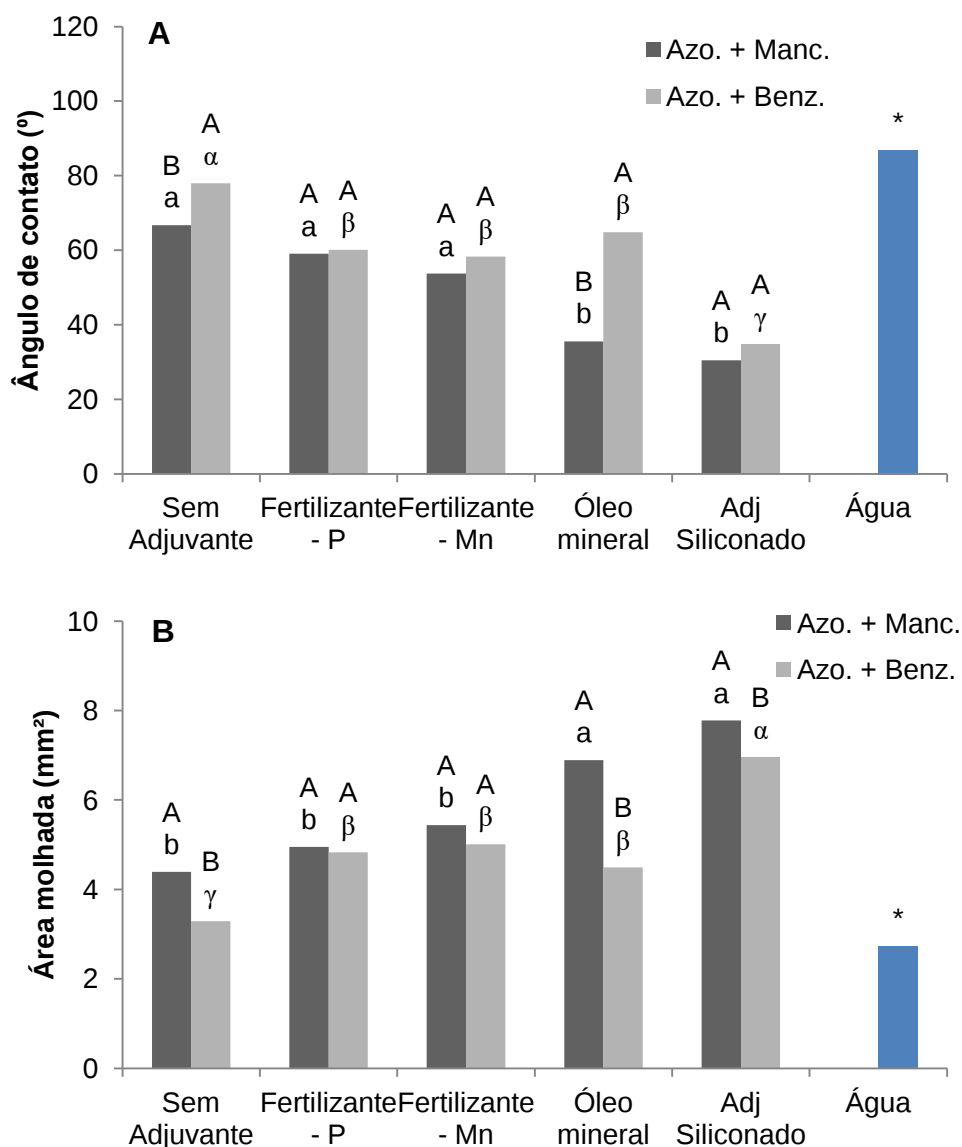
destaque ao óleo mineral e ao adjuvante siliconado que promoveram os menores valores não diferindo entre si (Figura 6A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso de óleo mineral e do adjuvante siliconado, com destaque para este último (figura 6B).



**Figura 6. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de milho. CV(%) =7,09. DMS=5,98. dms=8,56. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de milho. CV(%) =2,17. DMS=0,84. dms=1,24. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é novamente observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 6A e 6B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de milho, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 7A e 7B).



**Figura 7. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de milho. CV(%) =6,72. DMS=6,61. Dms=9,45. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de milho. CV(%) =2,18. DMS=0,54. dms=1,19. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o uso do adjuvante siliconado e do óleo mineral houve redução significativa do ângulo

de contato das gotas em relação aos demais (Figura 7A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso do adjuvante siliconado e do óleo mineral (figura 7B).

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 7A e 7B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de milho, nota-se que não houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água (Tabela 3). Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o óleo mineral e com o adjuvante siliconado não houve diferença entre as duas superfícies. Com os demais adjuvantes e sem o uso do mesmo, a superfície abaxial das folhas de milho apresentaram valores maiores de ângulo de contato e menores de área molhada. As caldas contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir diferiram entre as duas superfícies apenas quando se utilizou o óleo mineral, com maiores valores de ângulo de contato e menor espalhamento para a superfície abaxial da folha (Tabela 3).

**Tabela 3** - Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de milho.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |         | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|---------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 55,25 B    | 66,72 A | 5,39 A                          | 4,39 B  |
| Fertilizante P  | 41,75 B    | 59,10 A | 6,08 A                          | 4,95 B  |
| Fertilizante Mn | 37,01 B    | 53,74 A | 6,77 A                          | 5,44 B  |
| Óleo Mineral    | 33,01 A    | 35,56 A | 7,15 A                          | 6,89 A  |
| Siliconado      | 24,76 A    | 30,46 A | 8,01 A                          | 7,78 A  |
| Azo. + Benz.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 73,68 A    | 77,99 A | 3,72 A                          | 3,29 A  |
| Fertilizante P  | 58,28 A    | 60,09 A | 5,00 A                          | 4,83 A  |
| Fertilizante Mn | 57,52 A    | 58,25 A | 5,15 A                          | 5,01 A  |
| Óleo Mineral    | 58,94 B    | 64,78 A | 5,97 A                          | 4,49 B  |
| Siliconado      | 31,16 A    | 34,84 A | 7,75 A                          | 6,96 A  |
| Água            | 84,85 A    | 86,88 A | 2,83 A                          | 2,73 A  |
| CV              | 6,5        |         | 2,18                            |         |
| DMS             | 5,82       |         | 0,95                            |         |

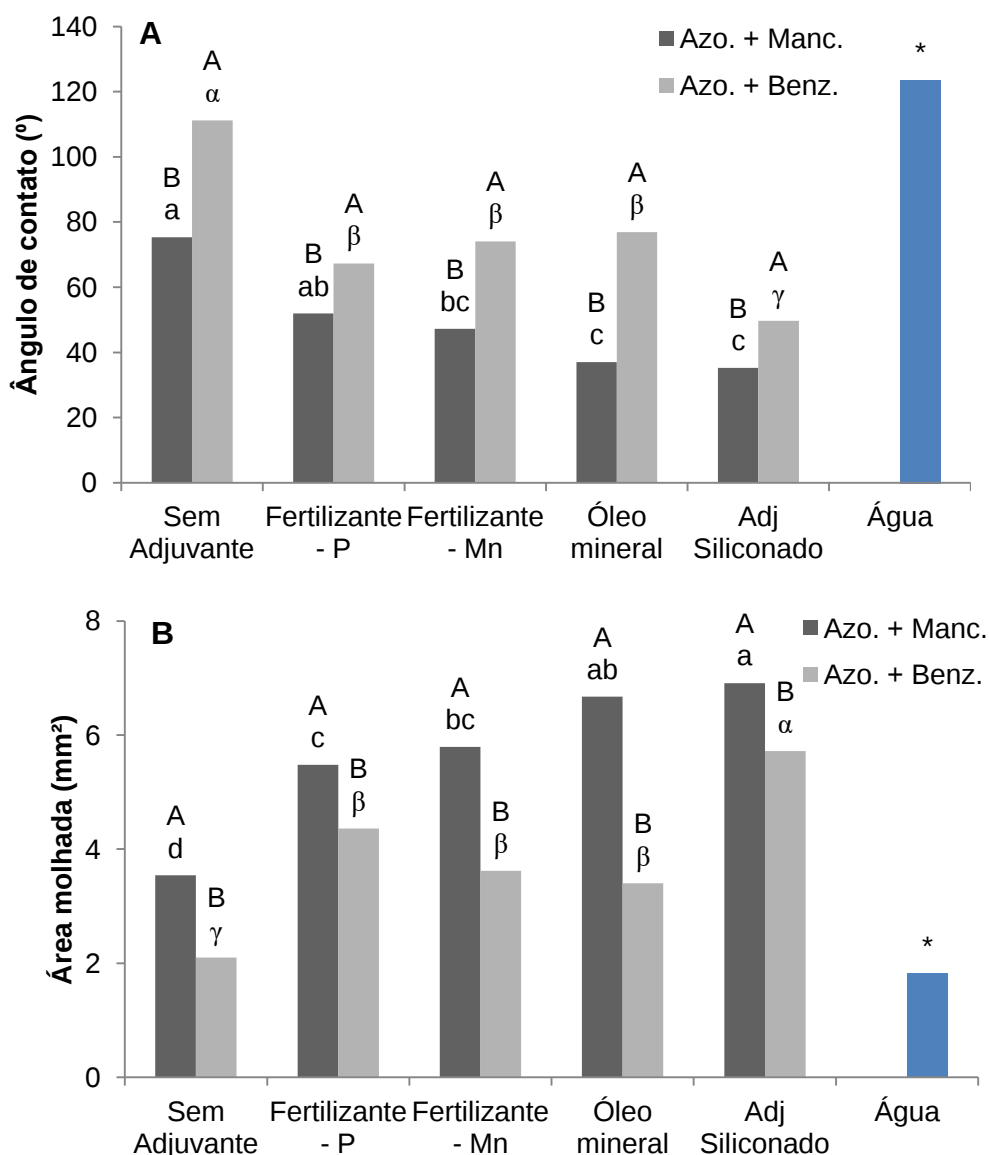
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de soja

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de soja (Figura 8A e 8B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes fertilizante Mn, óleo mineral e do organossiliconado promoveu os

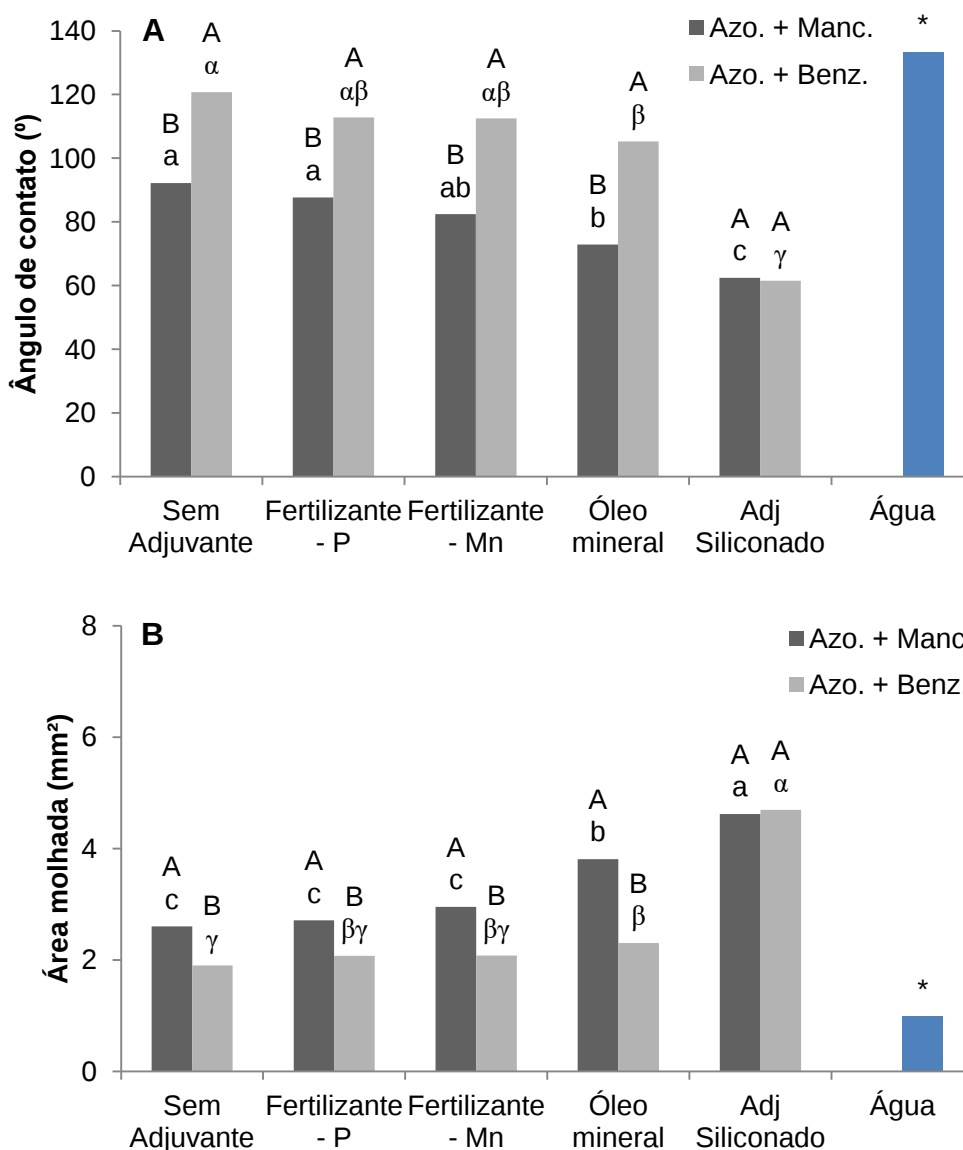
menores valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante e não diferindo entre si (Figura 8A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso destes três adjuvantes (figura 8B).



**Figura 8. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de soja. CV(%) =8,11. DMS=9,30. dms=13,31. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de soja. CV(%) =1,22. DMS=0,27. dms=0,96. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é novamente observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o menor valor de ângulo de contato e o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 8A e 8B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de soja, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 9A e 9B).



**Figura 9. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de soja. CV(%) =4,27. DMS=6,86. Dms=9,82. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de soja. CV(%) =2,35. DMS=0,31. dms=0,35. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o uso do adjuvante siliconado e do óleo mineral houve redução significativa do ângulo de contato das gotas em relação aos demais (Figura 9A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso do adjuvante siliconado e do óleo mineral (figura 9B).

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas apenas com o óleo mineral e com o adjuvante siliconado. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso destes dois adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 9A e 9B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de soja, nota-se que houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água, destacando a superfície abaxial com maior valor de ângulo de contato e menor valor de área molhada de gotas (Tabela 4). Este comportamento se repetiu para todas as demais caldas testadas no experimento.

**Tabela 4.** Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de soja.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |          | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|----------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL  | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 75,30 B    | 92,19 A  | 3,54 A                          | 2,60 B  |
| Fertilizante P  | 51,98 B    | 87,65 A  | 5,48 A                          | 2,71 B  |
| Fertilizante Mn | 47,23 B    | 82,40 A  | 5,79 A                          | 2,95 B  |
| Óleo Mineral    | 37,06 B    | 72,90 A  | 6,67 A                          | 3,81 B  |
| Siliconado      | 35,25 B    | 62,37 A  | 6,91 A                          | 4,62 B  |
| Azo. + Benz.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 111,21 B   | 120,71 A | 2,10 A                          | 1,90 B  |
| Fertilizante P  | 67,31 B    | 112,79 A | 4,36 A                          | 2,07 B  |
| Fertilizante Mn | 74,09 B    | 112,45 A | 3,62 A                          | 2,08 B  |
| Óleo Mineral    | 76,93 B    | 105,27 A | 3,40 A                          | 2,30 B  |
| Siliconado      | 49,70 B    | 61,47 A  | 5,72 A                          | 4,69 B  |
| Água            | 123,53 B   | 133,32 A | 1,82 A                          | 0,98 B  |
| CV              | 5,8        |          | 3,27                            |         |
| DMS             | 7,78       |          | 0,15                            |         |

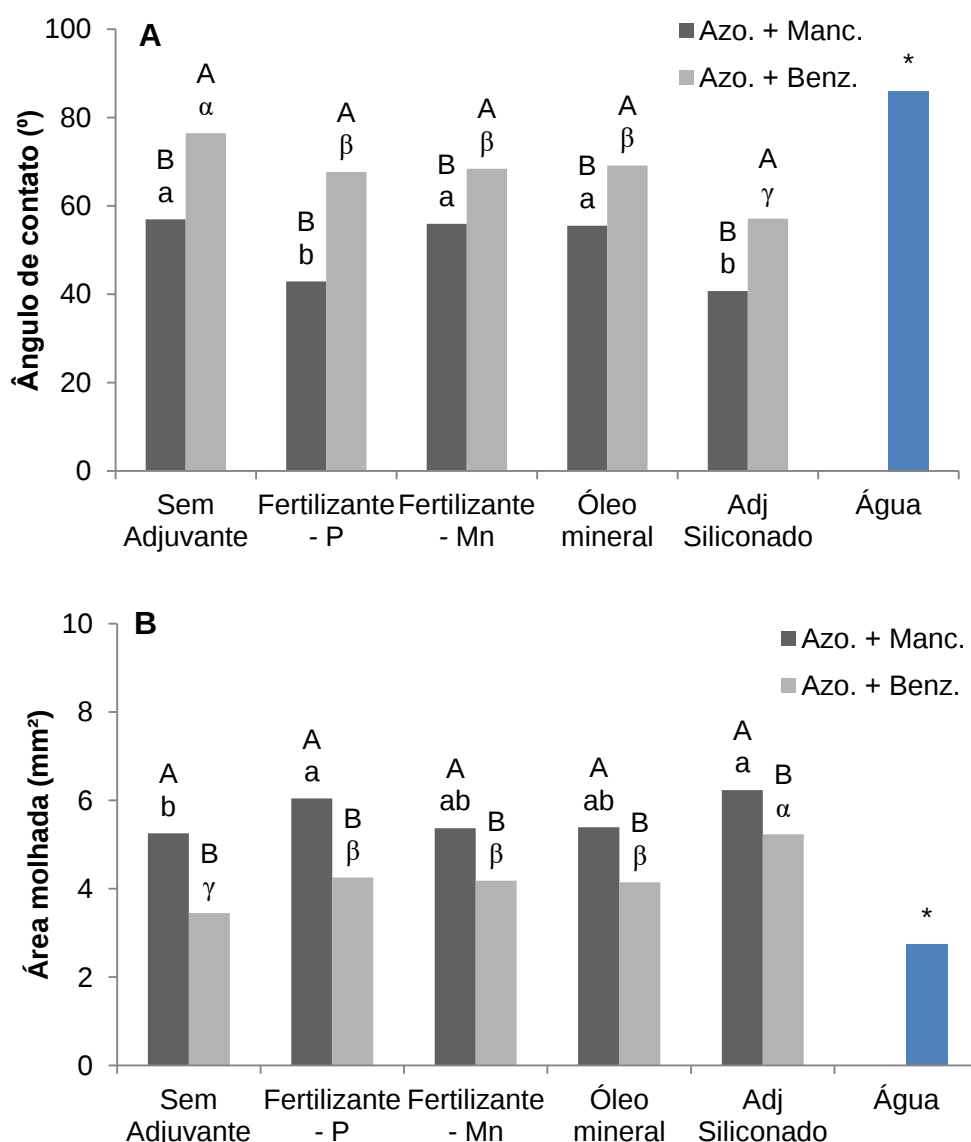
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de algodão

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de algodão (Figura 10A e 10B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas com o uso dos adjuvantes fertilizante-P e do organossiliconado houve reduções significativas do ângulo de contato das gotas (Figura 10A). Da mesma forma, os

maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso desses produtos (figura 10B).

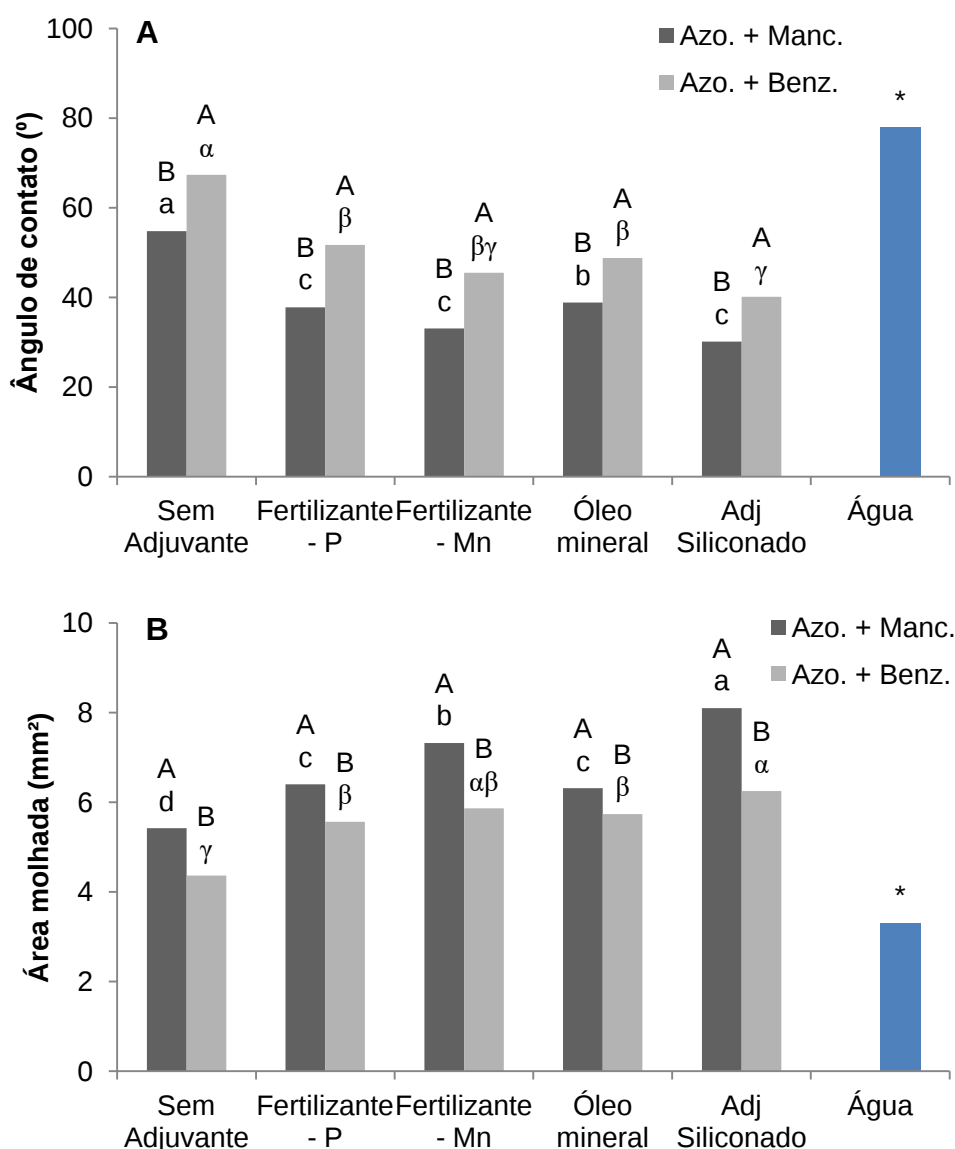


**Figura 10. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de algodão. CV(%) =5,21. DMS=5,63. dms=8,06. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de algodão. CV(%) =2,44. DMS=0,51. dms=0,69. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é

novamente observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 10A e 10B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de algodão, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 11A e 11B).



adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso de adjuvantes reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes com destaque ao adjuvante siliconado, ao fertilizante-P e ao fertilizante-Mn, que não diferiram entre si (Figura 11A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso destes adjuvantes (Figura 11B).

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 11A e 11B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de algodão, observa-se que houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água, com valores maiores de ângulo de contato e menor espalhamento da gota na superfície adaxial da folha (Tabela 5). Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, apenas sem adjuvantes não houve diferença entre as duas superfícies. Com o uso de adjuvantes, a superfície adaxial das folhas de algodão apresentaram valores maiores de ângulo de contato e menores de área molhada. Todas as caldas contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir diferiram entre as duas superfícies, com maiores valores de ângulo de contato e menor espalhamento para a superfície adaxial da folha (Tabela 5).

**Tabela 5** - Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de algodão.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |         | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|---------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 56,90 A    | 54,75 A | 5,25 A                          | 5,42 A  |
| Fertilizante P  | 42,88 A    | 37,79 B | 6,04 B                          | 6,40 A  |
| Fertilizante Mn | 55,90 A    | 33,07 B | 5,37 B                          | 7,32 A  |
| Óleo Mineral    | 55,50 A    | 38,83 B | 5,39 B                          | 6,31 A  |
| Siliconado      | 40,71 A    | 30,12 B | 6,23 B                          | 8,10 A  |
| Azo. + Benz.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 76,45 A    | 67,33 B | 3,45 B                          | 4,36 A  |
| Fertilizante P  | 67,68 A    | 51,66 B | 4,25 B                          | 5,56 A  |
| Fertilizante Mn | 68,36 A    | 45,50 B | 4,18 B                          | 5,86 A  |
| Óleo Mineral    | 69,13 A    | 48,75 B | 4,14 B                          | 5,73 A  |
| Siliconado      | 57,10 A    | 40,09 B | 5,23 B                          | 6,25 A  |
| Água            | 86,00 A    | 77,80 B | 2,74 B                          | 3,30 A  |
| CV              | 5,4        |         | 3,78                            |         |
| DMS             | 4,86       |         | 0,18                            |         |

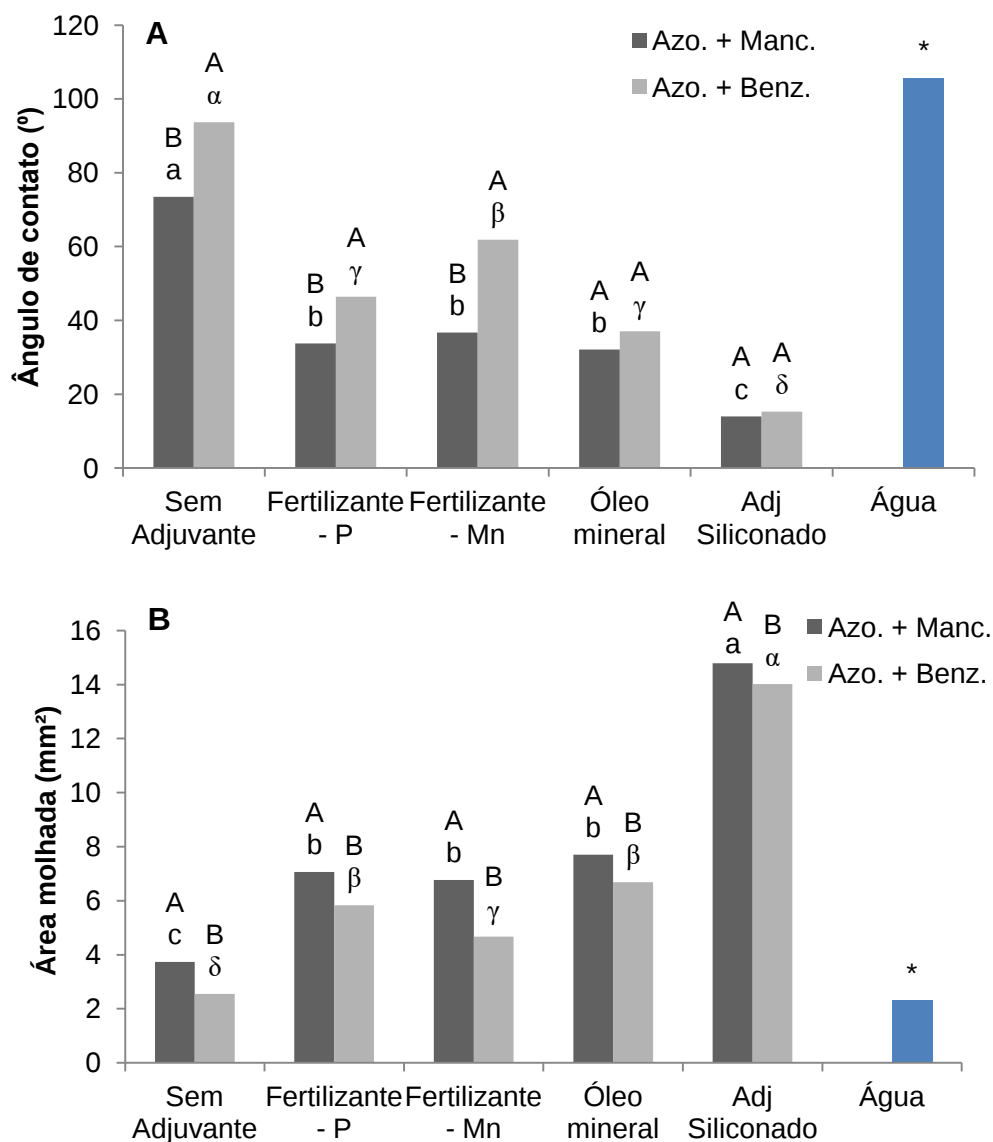
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de citros

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de citros (Figura 12A e 12B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes promoveu reduções significativas nos valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante (Figura 12A). Da mesma forma, os maiores

valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso dos adjuvantes, com destaque para o adjuvante siliconado que diferiu dos demais (figura 12B).

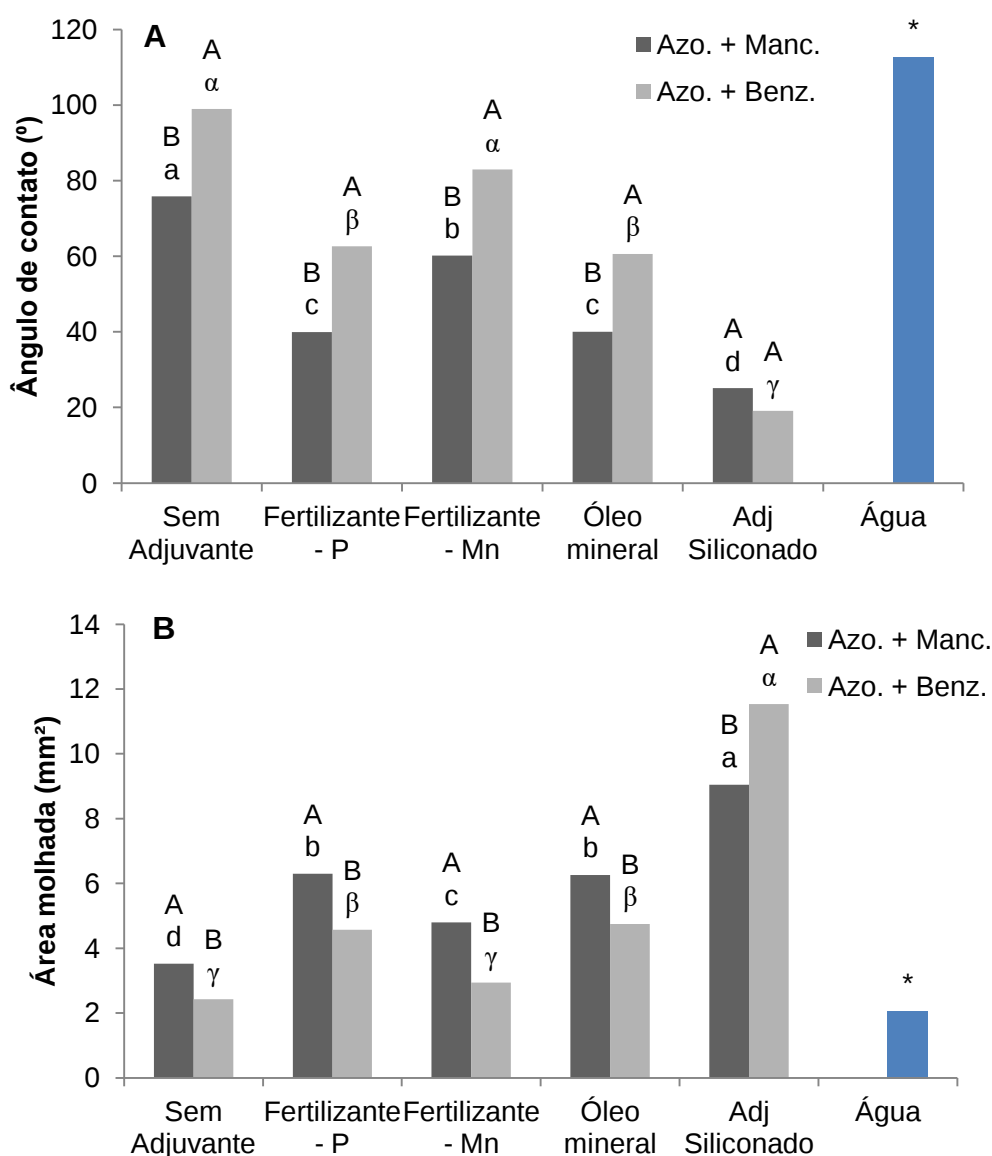


**Figura 12. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de citros. CV(%) =10,67. DMS=8,45. dms=12,09. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de citros. CV(%) =2,74. DMS=0,24. dms=0,93. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de

contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o menor valor de ângulo de contato e o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 12A e 12B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de citros, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 13A e 13B).



**Figura 13. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de citros. CV(%) =6,84. DMS=6,93. dms=9,92. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de citros. CV(%) =2,84. DMS=0,35.

dms=0,52. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).  
\*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso de adjuvantes promoveu reduções significativas nos valores de ângulo de contato das gotas em relação à calda sem adjuvante (Figura 13A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso de adjuvantes, com destaque para o organossiliconado (figura 13B).

O uso dos adjuvantes fertilizante-P, óleo mineral e do organossiliconado na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas. Analisando os valores de área molhada, com o uso destes três adjuvantes houve aumento significativo dos valores resultando em maior espalhamento. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 13A e 13B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de citros, nota-se que não houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água (Tabela 6). Este comportamento se repetiu para as duas caldas fungicidas sem o uso de adjuvantes.

**Tabela 6** - Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de citros.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |          | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|----------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL  | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 73,50 A    | 75,80 A  | 3,73 A                          | 3,52 A  |
| Fertilizante P  | 33,80 A    | 39,91 A  | 7,07 A                          | 6,70 A  |
| Fertilizante Mn | 36,70 B    | 60,17 A  | 6,77 A                          | 4,80 B  |
| Óleo Mineral    | 32,08 B    | 40,01 A  | 7,70 A                          | 6,26 B  |
| Siliconado      | 14,01 B    | 25,10 A  | 13,79 A                         | 9,05 B  |
| Azo. + Benz.    |            |          |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 93,70 A    | 99,00 A  | 2,55 A                          | 2,43 A  |
| Fertilizante P  | 46,40 B    | 62,62 A  | 5,83 A                          | 4,57 B  |
| Fertilizante Mn | 61,84 B    | 82,93 A  | 4,67 A                          | 2,94 B  |
| Óleo Mineral    | 37,03 B    | 60,59 A  | 6,69 A                          | 4,75 B  |
| Siliconado      | 15,26 A    | 19,10 A  | 12,02 A                         | 11,84 A |
| Água            | 105,71 A   | 112,80 A | 2,30 A                          | 2,07 A  |
| CV              | 7,8        |          | 3,47                            |         |
| DMS             | 7,17       |          | 0,52                            |         |

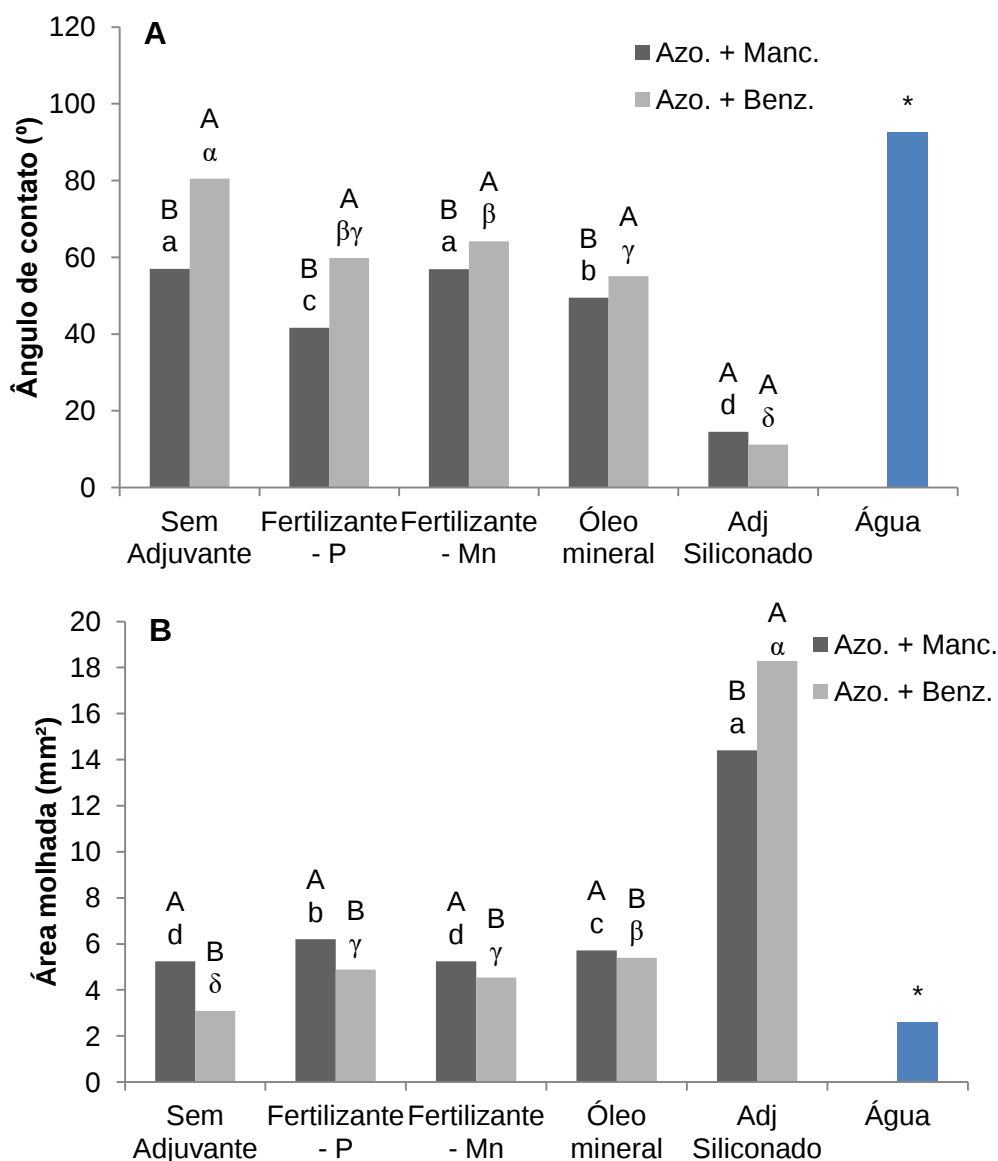
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### **Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de café**

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície adaxial das folhas de café (Figura 14A e 14B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes fertilizante-P, óleo mineral e do organossiliconado promoveu os menores valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante e da calda com o fertilizante-Mn (Figura 14A). Da mesma forma, os maiores valores de área

molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso destes três adjuvantes, com destaque para o adjuvante siliconado (figura 14B).

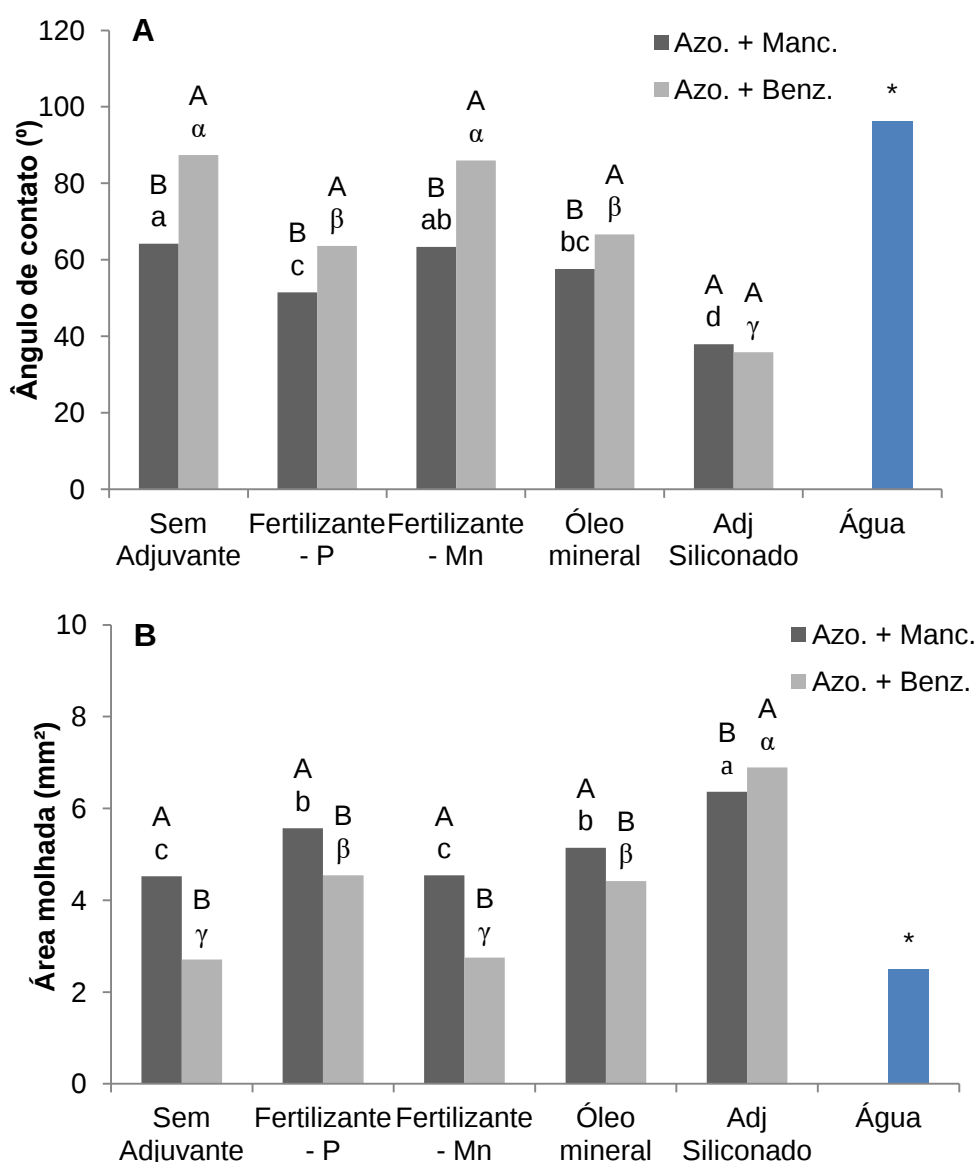


**Figura 14. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de café. CV(%) =5,3. DMS=4,79. dms=6,85. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies adaxiais de folhas de café. CV(%) =2,46. DMS=0,29. dms=0,41. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é

novamente observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o menor valor de ângulo de contato e o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 14A e 14B).

Com relação aos resultados obtidos sobre a superfície abaxial das folhas de café, todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, também diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota (Figura 15A e 15B).



**Figura 15. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de café. CV(%) =4,18. DMS=4,57. dms=6,54. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfícies abaxiais de folhas de café. CV(%) =2,56. DMS=0,21. dms=0,45. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro

do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).  
\*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

As caldas contendo os fungicidas sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir também apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes fertilizante-P, óleo mineral e do organossiliconado promoveu os menores valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante e da calda com o fertilizante-Mn (Figura 15A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso do adjuvante siliconado, do fertilizante-P e do óleo mineral, com destaque para o adjuvante siliconado com o menor valor (figura 15B).

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir o uso dos adjuvantes fertilizante-P, óleo mineral e do organossiliconado promoveu os menores valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante e da calda com o fertilizante-Mn. O mesmo fenômeno é observado para os valores de área molhada, onde o uso destes três adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 15A e 15B).

Ao comparar o efeito entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de café, nota-se que não houve diferença significativa entre as duas superfícies quando utilizou-se apenas água (Tabela 7). Este comportamento se repetiu para as duas caldas fungicidas sem o uso de adjuvantes.

**Tabela 7** - Comparação dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de café. Ângulo de contato: CV(%)=4,87, DMS=7,51. Área molhada: CV(%)=3,56, DMS=0,75.

| Tratamentos     | Ângulo (°) |         | Área molhada (mm <sup>2</sup> ) |         |
|-----------------|------------|---------|---------------------------------|---------|
|                 | ADAXIAL    | ABAXIAL | ADAXIAL                         | ABAXIAL |
| Azo. + Manc.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 57,00 B    | 64,22 A | 5,24 A                          | 4,52 B  |
| Fertilizante P  | 41,61 B    | 51,47 A | 6,20 A                          | 5,57 B  |
| Fertilizante Mn | 56,90 B    | 63,36 A | 5,25 A                          | 4,54 B  |
| Óleo Mineral    | 49,46 B    | 57,64 A | 5,72 A                          | 5,14 B  |
| Siliconado      | 14,51 B    | 37,92 A | 14,4 A                          | 6,36 B  |
| Azo. + Benz.    |            |         |                                 |         |
| Sem adjuvante   | 80,50 B    | 87,41 A | 3,09 A                          | 2,71 B  |
| Fertilizante P  | 59,80 A    | 63,64 A | 4,88 A                          | 4,74 A  |
| Fertilizante Mn | 64,16 B    | 85,99 A | 4,53 A                          | 2,75 B  |
| Óleo Mineral    | 55,08 B    | 66,65 A | 5,40 A                          | 4,42 B  |
| Siliconado      | 11,23 B    | 35,81 A | 18,29 A                         | 6,89 B  |
| Água            | 92,43 A    | 96,20 A | 2,59 A                          | 2,49 A  |
| CV              | 4,87       |         | 3,56                            |         |
| DMS             | 4,51       |         | 0,15                            |         |

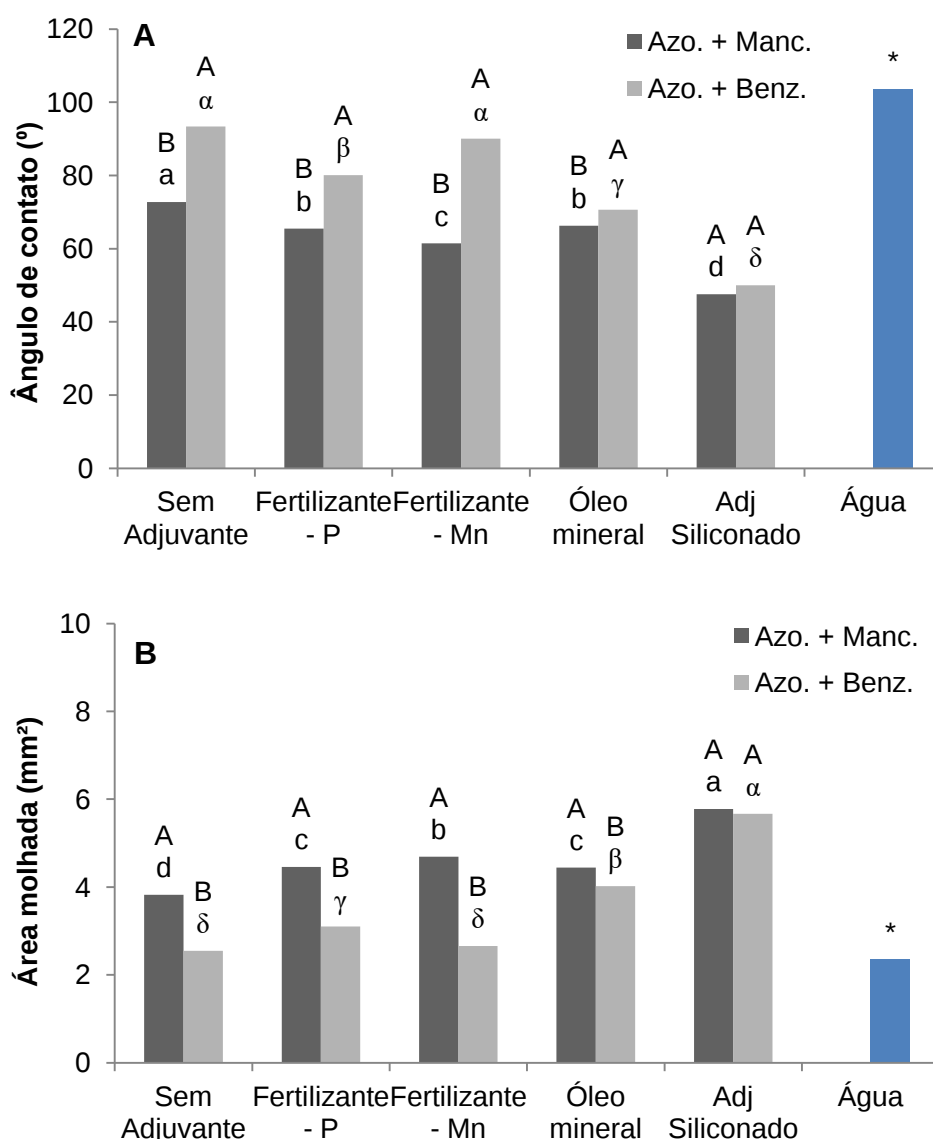
\* Letras maiúsculas na linha não diferem entre si para a variável ângulo de contato e para a variável área molhada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfície de parafilme

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície de parafilme (Figura 16A e 16B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes promoveu reduções significativas nos valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante (Figura 16A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe

se deu com o uso dos adjuvantes, com destaque para o adjuvante siliconado que diferiu dos demais (Figura 16B).



**Figura 16.** **A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfície de parafilme. CV(%) =2,24. DMS=2,76. dms=3,95. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfície de parafilme. CV(%) =1,25. DMS=0,16. dms=0,17. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

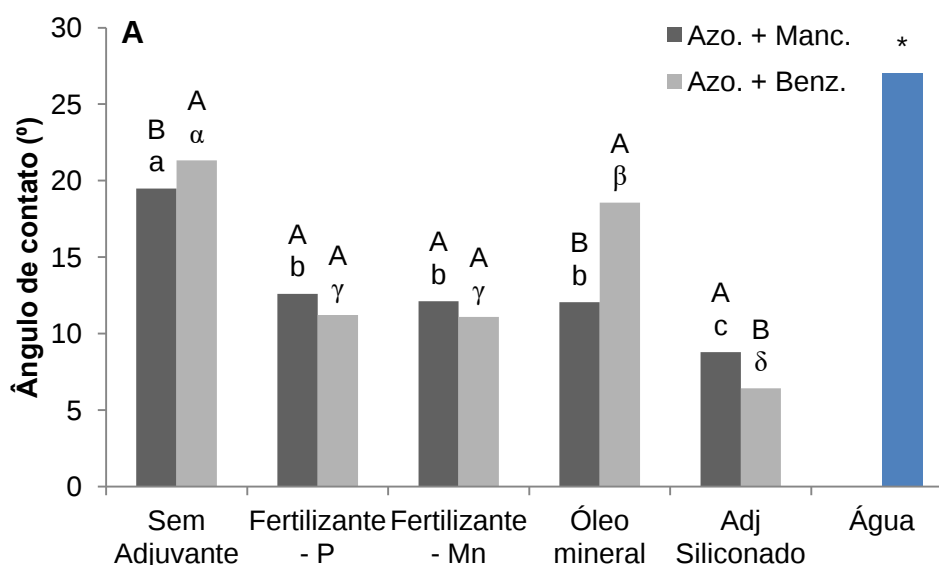
Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir, o uso dos adjuvantes fertilizante-P, óleo mineral e do organossiliconado reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas. Analisando os valores de área

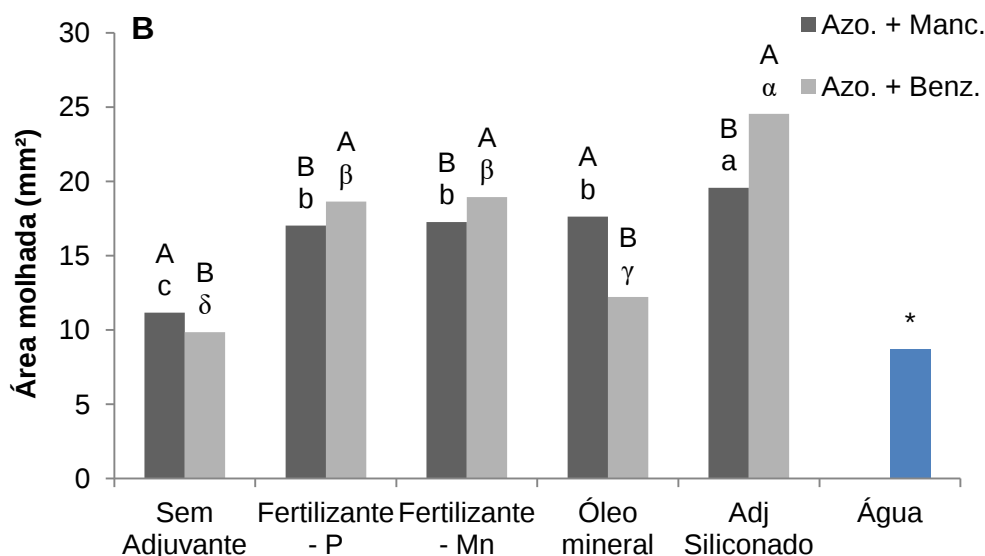
molhada, com o uso destes três adjuvantes houve aumento significativo dos valores resultando em maior espalhamento. O adjuvante que promoveu o menor valor de ângulo de contato e o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado diferindo dos demais (Figura 16A e 16B).

### Ângulo de contato e área molhada de gotas sobre superfície de vidro

Todas as caldas contendo produtos fitossanitários, com e sem adjuvantes, diferiram significativamente da água, que apresentou o maior valor de ângulo de contato e o menor valor de área molhada pela gota sobre a superfície de parafilme (Figura 17A e 17B). As formulações dos fungicidas (azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir) sem adjuvantes diferiram entre si, sendo que azoxistrobina + benzovindiflupir apresentou os maiores valores de ângulo de contato e os menores valores de área molhada.

Nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe, o uso dos adjuvantes promoveu reduções significativas nos valores de ângulo de contato das gotas, diferindo da calda sem adjuvante (Figura 17A). Da mesma forma, os maiores valores de área molhada nas caldas contendo o produto azoxistrobina + mancozebe se deu com o uso dos adjuvantes, com destaque para o adjuvante siliconado que diferiu dos demais (figura 17A e 17B).





**Figura 17. A.** Ângulo de contato das gotas pulverizadas sobre superfície de vidro. CV(%) =6,61. DMS=1,63. dms=2,34. **B.** Área molhada das gotas pulverizadas sobre superfície de vidro. CV(%) =1,06. DMS=0,16. dms=1,22. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + mancozebe, letras minúsculas gregas para adjuvantes dentro do grupo do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir e maiúsculas entre fungicidas não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). \*Testemunha diferente significativamente dos demais tratamentos.

O uso de adjuvantes na calda contendo o produto azoxistrobina + benzovindiflupir também reduziu de forma significativa os valores de ângulo de contato de gotas em comparação à calda sem adjuvantes. O mesmo fenômeno é novamente observado para os valores de área molhada, onde o uso de adjuvantes promoveu aumento significativo dos valores de área molhada pela gota. O adjuvante que promoveu o menor valor de ângulo de contato e o maior valor de área molhada foi o adjuvante siliconado, seguido pelo fertilizante-P, fertilizante-Mn e pelo óleo mineral respectivamente (Figura 17A e 17B).

### Comparação entre as superfícies vegetais e artificiais

Utilizando apenas a água para comparar as diferentes superfícies vegetais e artificiais, as superfícies adaxial e abaxial das folhas de soja se destacaram por apresentar os maiores valores de ângulo de contato e menores valores de área molhada pela gota, diferindo dos demais (Tabela 8 e Figura 18). Em seguida, aparecem as folhas de citros, a superfícies de parafilme e as folhas de cana-de-

açúcar, que não diferiram entre si. As espécies vegetais que apresentaram a melhor afinidade com as gotas de água, ou seja, melhor espalhamento foram as espécies de milho, algodão e café. A superfície que promoveu o maior espalhamento de gota foi o vidro (Tabela 8 e figura 18).

O parafilme foi definido como superfície padrão a fim de comparação. Dessa forma, os valores obtidos com essa superfície foram considerados 100%. Nota-se que, utilizando a água como exemplo, houve aumento de quase 20% nos valores de ângulo de contato da gota na superfície adaxial da soja e de quase 30% na superfície abaxial da mesma em relação ao parafilme. O vidro, no outro extremo, teve redução de aproximadamente 75% no valor de ângulo de contato de gotas em comparação à superfície padrão, com grande reflexo no espalhamento.

**Tabela 8** - Comparação entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de cana, milho, soja, algodão, citros, café, parafilme e vidro em função dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas de água. Ângulo de contato (Adaxial): CV(%)=7,84, DMS=6,04. (Abaxial): CV(%)=4,52, DMS=8,88. Área molhada (Adaxial): CV(%)=2,34, DMS=0,10. (Abaxial): CV(%)=2,45, DMS=0,23.

| Superfície Foliar | Água                  |            |          |            |                                 |            |         |            |
|-------------------|-----------------------|------------|----------|------------|---------------------------------|------------|---------|------------|
|                   | Ângulo de contato (°) |            |          |            | Área Molhada (mm <sup>2</sup> ) |            |         |            |
|                   | Adaxial               | %          | Abaxial  | %          | Adaxial                         | %          | Abaxial | %          |
| <b>Soja</b>       | 123,53 A*             | <b>119</b> | 133,32 A | <b>129</b> | 1,82 E                          | <b>77</b>  | 0,98 F  | <b>42</b>  |
| <b>Citros</b>     | 105,71 B              | <b>101</b> | 112,80 B | <b>109</b> | 2,30 D                          | <b>98</b>  | 2,07 E  | <b>88</b>  |
| <b>Parafilme</b>  | 103,66 B              | <b>100</b> | 103,66 B | <b>100</b> | 2,35 D                          | <b>100</b> | 2,35 DE | <b>100</b> |
| <b>Cana</b>       | 100,51 B              | <b>97</b>  | 106,97 B | <b>103</b> | 2,40 D                          | <b>102</b> | 2,27 DE | <b>97</b>  |
| <b>Café</b>       | 92,43 C               | <b>89</b>  | 96,20 C  | <b>93</b>  | 2,59 C                          | <b>110</b> | 2,49 D  | <b>106</b> |
| <b>Algodão</b>    | 86,00 D               | <b>82</b>  | 77,80 E  | <b>75</b>  | 2,74 B                          | <b>116</b> | 3,30 B  | <b>140</b> |
| <b>Milho</b>      | 84,85 D               | <b>81</b>  | 86,88 D  | <b>84</b>  | 2,83 B                          | <b>120</b> | 2,73 C  | <b>116</b> |
| <b>Vidro</b>      | 26,99 E               | <b>26</b>  | 26,99 F  | <b>26</b>  | 8,67 A                          | <b>369</b> | 8,67 A  | <b>369</b> |

\* Letras maiúsculas na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey (p<0,05).

Ao realizar a mesma comparação utilizando as caldas contendo os fungicidas azoxistrobina + mancozebe e azoxistrobina + benzovindiflupir o comportamento é o mesmo obtido com a água, com as folhas de soja apresentando o menor espalhamento seguida pelas superfícies de folhas de citros, parafilme, cana-de-açúcar, café, algodão, milho e vidro (Tabela 9 e 10 e Figura 18).

**Tabela 9** - Comparação entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de cana, milho, soja, algodão, citros, café, parafilme e vidro em função dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas da calda contendo o fungicida Azoxistrobina + mancozebe. Ângulo de contato (Adaxial): CV(%)=1,23, DMS=1,76. (Abaxial): CV(%)=3,49, DMS=3,83. Área molhada (Adaxial): CV(%)=3,54, DMS=0,16. (Abaxial): CV(%)=3,12, DMS=0,13.

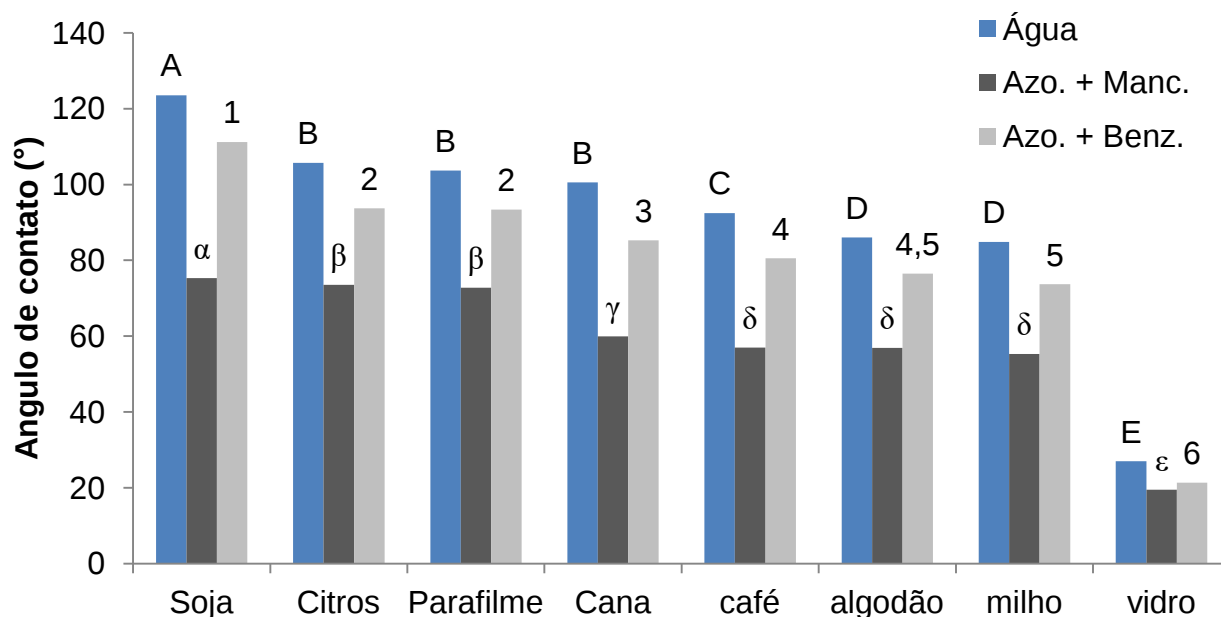
| Superfície Foliar | Azo. + manc.          |            |         |            |                                 |            |         |            |
|-------------------|-----------------------|------------|---------|------------|---------------------------------|------------|---------|------------|
|                   | Ângulo de contato (°) |            |         |            | Área Molhada (mm <sup>2</sup> ) |            |         |            |
|                   | Adaxial               | %          | Abaxial | %          | Adaxial                         | %          | Abaxial | %          |
| <b>Soja</b>       | 75,30 A*              | <b>104</b> | 92,19 A | <b>127</b> | 3,54 E                          | <b>93</b>  | 2,60 F  | <b>68</b>  |
| <b>Citros</b>     | 73,50 B               | <b>101</b> | 75,80 B | <b>104</b> | 3,73 D                          | <b>98</b>  | 3,52 E  | <b>92</b>  |
| <b>Parafilme</b>  | 72,75 B               | <b>100</b> | 72,75 B | <b>100</b> | 3,82 D                          | <b>100</b> | 3,82 D  | <b>100</b> |
| <b>Cana</b>       | 59,95 C               | <b>82</b>  | 70,73 B | <b>97</b>  | 4,86 C                          | <b>127</b> | 3,90 D  | <b>102</b> |
| <b>Café</b>       | 57,00 D               | <b>78</b>  | 64,22 C | <b>88</b>  | 5,24 B                          | <b>137</b> | 4,52 C  | <b>118</b> |
| <b>Algodão</b>    | 56,90 D               | <b>78</b>  | 54,75 D | <b>75</b>  | 5,25 B                          | <b>137</b> | 5,42 B  | <b>142</b> |
| <b>Milho</b>      | 55,25 D               | <b>76</b>  | 66,72 C | <b>92</b>  | 5,39 B                          | <b>141</b> | 4,39 C  | <b>115</b> |
| <b>Vidro</b>      | 19,49 E               | <b>27</b>  | 19,49 E | <b>27</b>  | 11,16 A                         | <b>292</b> | 11,16 A | <b>292</b> |

\* Letras maiúsculas na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey (p<0,05).

**Tabela 10** - Comparação entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de cana, milho, soja, algodão, citros, café, parafilme e vidro em função dos valores de ângulo de contato e área molhada de gotas da calda contendo o fungicida Azoxistrobina + benzovindiflupir. Ângulo de contato (Adaxial): CV(%)=3,88, DMS=4,05. (Abaxial): CV(%)=3,36, DMS=6,01. Área molhada (Adaxial): CV(%)=2,59, DMS=0,27. (Abaxial): CV(%)=2,78, DMS=0,15.

| Superfície Foliar | Azo. + benz.          |            |          |            |                                 |            |         |            |
|-------------------|-----------------------|------------|----------|------------|---------------------------------|------------|---------|------------|
|                   | Ângulo de contato (°) |            |          |            | Área Molhada (mm <sup>2</sup> ) |            |         |            |
|                   | Adaxial               | %          | Abaxial  | %          | Adaxial                         | %          | Abaxial | %          |
| <b>Soja</b>       | 111,21 A*             | <b>119</b> | 120,71 A | <b>129</b> | 2,10 F                          | <b>82</b>  | 1,90 F  | <b>75</b>  |
| <b>Citros</b>     | 93,70 B               | <b>100</b> | 99,00 B  | <b>106</b> | 2,55 E                          | <b>100</b> | 2,43 E  | <b>95</b>  |
| <b>Parafilme</b>  | 93,35 B               | <b>100</b> | 93,35 BC | <b>100</b> | 2,55 E                          | <b>100</b> | 2,55 E  | <b>100</b> |
| <b>Cana</b>       | 85,28 C               | <b>91</b>  | 98,81 B  | <b>106</b> | 2,84 D                          | <b>111</b> | 2,43 E  | <b>95</b>  |
| <b>Café</b>       | 80,50 D               | <b>86</b>  | 87,41 C  | <b>94</b>  | 3,09 C                          | <b>121</b> | 2,73 D  | <b>107</b> |
| <b>Algodão</b>    | 76,45 DE              | <b>82</b>  | 67,33 E  | <b>72</b>  | 3,45 B                          | <b>135</b> | 4,36 B  | <b>171</b> |
| <b>Milho</b>      | 73,68 E               | <b>78</b>  | 77,99 D  | <b>84</b>  | 3,72 B                          | <b>146</b> | 3,29 C  | <b>129</b> |
| <b>Vidro</b>      | 21,33 F               | <b>23</b>  | 21,33 F  | <b>23</b>  | 9,85 A                          | <b>386</b> | 9,85 A  | <b>386</b> |

\* Letras maiúsculas na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey (p<0,05).



**Figura 18.** Comparação entre as superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de cana, milho, soja, algodão, citros, café, parafilme e vidro em função dos valores de ângulo de contato de gotas das caldas contendo o fungicida azo.+ manc., azo.+ benz. e apenas água. Médias seguidas pela mesma letra, letra grega ou número não diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4. Discussão

A água diferiu de todos os tratamentos por apresentar fortes ligações das pontes de hidrogênio entre suas moléculas com alta tensão superficial (HEWITT, 2008; IOST; RAETANO, 2010), o que explica seu elevado valor de ângulo de contato de gotas sobre as diferentes superfícies estudadas no presente trabalho. É comprovado que a relação entre tensão superficial e ângulo de contato de gotas é positiva e muito forte, de tal maneira que, quanto maior os valores de tensão superficial, maiores serão os valores de ângulo de contato de gotas e, consequentemente, menores os valores de área molhada (DECARO JUNIOR et al., 2015).

Devido à presença de adjuvantes internos à formulação do fungicida comercial de azoxistrobina + mancozebe, na calda sem adição dos adjuvantes houve redução considerável nos valores de ângulo de contato para todas as superfícies estudadas em relação à água, com respectivo aumento da área molhada. As caldas contendo o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir sem adição de adjuvantes também apresentaram comportamento semelhante. Como os

produtos comercializados já possuem adjuvantes em sua formulação, o seu uso associado com outros adjuvantes pode não resultar em modificações expressivas na tensão superficial (DECARO JUNIOR et al., 2014).

Para o óleo mineral, as reduções nos valores de ângulo de contato e aumento nos valores de área molhada em todas as superfícies analisadas para as duas caldas fungicidas possivelmente deveu-se à formação de micelas pelas moléculas do óleo mineral na calda (IOST; RAETANO, 2010; GIMENES et al., 2013). Estas ligações podem atuar como ponte entre moléculas de água e do fungicida o que reduz a tensão superficial da calda, com reflexo no ângulo de contato, substituindo ligações mais fortes representadas por pontes de hidrogênio da água (XU et al., 2011).

O produto fertilizante - P (umectante e anti espumante) e o fertilizante - Mn (quelatizante) possuem características adjuvantes que pode ter contribuído para a redução nos valores de ângulo de contato e aumento no espalhamento. De maneira geral, estes dois produtos de formulação EC apresentaram comportamento similar ao do óleo mineral e, a formação de micelas também influenciou na redução dos valores de ângulo de contato e no maior espalhamento das gotas.

O efeito surfactante do adjuvante siliconado (Silwet®) resultou em diminuições muito expressivas nos valores de ângulo de contato das gotas das caldas em todas as superfícies analisadas no trabalho, com consequência nos maiores valores de área molhada de gotas. Isto se deve ao fato de que os organossiliconados possuem a maior capacidade de redução da tensão superficial da água e dos valores de ângulo de contato de gotas em relação aos demais grupos de adjuvantes (IOST; RAETANO, 2010; DECARO et al, 2016). Com dosagem de 5% da recomendada em bula, já é verificada uma redução significativa dos valores de ângulo de contato de gotas. Isto ocorre por que este grupo de adjuvantes possui elevada capacidade de reduzir as forças de ligação entre as moléculas no líquido (IOST; RAETANO, 2010).

É importante ressaltar que quanto mais hidrofóbica é determinada superfície, mais repelidas serão as gotas de caldas aquosas aplicadas, de modo a assumirem o formato esférico, com ângulos de contato acima de 90° (XU et al., 2011). Esse maior ou menor ângulo, por sua vez, dependerá da força de ligação entre as moléculas do líquido na gota, representada pela tensão superficial. Portanto, será regra geral que

os surfatantes adicionados à calda capazes de reduzir sua tensão superficial, também diminuirão o ângulo de contato das gotas aplicadas sobre superfícies hidrofóbicas (DECARO JUNIOR et al., 2015). Com isso, aumenta-se a possibilidade da calda entrar em contato com alvo desejado, com possível aumento da absorção do produto pela folha. Em ambos os casos espera-se maior eficácia do produto fitossanitário depositado, o que aumenta a importância do uso de adjuvantes nas aplicações em volumes reduzidos (LASMAR, 2014).

Xu et al. (2011) demonstraram que, em superfícies cerosas e em superfícies pilosas, sem uso de adjuvantes, as gotas se mantiveram esféricas, no primeiro caso, e suspensas nos tricomas, no segundo caso, devido à hidrofobia dessas superfícies foliares.

É importante destacar as diferenças morfológicas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de uma mesma espécie vegetal. A semelhança ou a diferença entre essas duas superfícies vai depender da espécie e da variedade com que se está trabalhando (VIANA et al., 2010).

Quando se comparou as superfícies adaxiais e abaxiais das espécies analisadas neste trabalho utilizando apenas a água, não houve diferenças significativas entre as superfícies adaxiais e abaxiais de folhas de cana-de-açúcar, milho, citros e café. Com relação às folhas de soja, a superfície abaxial apresentou ângulos de contato maior na superfície abaxial, ou seja, menor espalhamento em relação à superfície adaxial. O inverso foi observado para as folhas de algodão.

Quando a comparação foi feita utilizando as caldas fitossanitárias, com e sem adjuvantes, os resultados variaram. Porém, para todas as espécies que apresentaram diferença significativa, a superfície abaxial se mostrou mais hidrofóbica com menor espalhamento. A única exceção foi para as folhas de algodão, cuja superfície abaxial se mostrou mais hidrofílica que a adaxial. Uma vez que as espécies/variedades estudadas neste trabalho são de grande importância agrônômica, pode-se estabelecer uma relação entre o maior teor de cera na face abaxial e a resistência da cultivar, pois a face inferior da folha é o sítio de infecção da maioria dos fungos, ácaros e insetos (LICHSTON; GODOY, 2006). A maior concentração de ceras nessa superfície funciona como uma barreira não apenas à patógenos, mas também à perda de água.

Kolyva et al. (2012) encontrou resultados semelhantes trabalhando com outras espécies de plantas, onde a superfície abaxial mostrou-se mais hidrofóbica, o que, à primeira vista, é surpreendente, uma vez que geralmente a superfície adaxial está mais exposta à chuva do que a abaxial. No entanto, uma alta hidrofobicidade na parte inferior das folhas pode desempenhar um papel significativo na manutenção da fotossíntese durante a estação chuvosa, mantendo sem obstáculos a troca gasosa das folhas.

Monquero (2003) descreve que tanto a resistência a agentes patogênicos quanto a tolerância de espécies a determinados produtos estão diretamente relacionadas ao teor e à composição química da cera epicuticular.

No caso das folhas de algodão, onde a superfície abaxial se mostrou mais hidrofílica que a adaxial, a quantidade de ceras epicuticulares presentes na superfície inferior é provavelmente menor do que da superfície superior da folha. Além disso, as nervuras secundárias são mais acentuadas na superfície abaxial da folha de algodão da variedade estudada e, dessa forma, quando as gotas entram em contato com essa superfície, acabam se espalhando mais facilmente ao entrar em contato com essas nervuras.

Ao comparar as diferentes superfícies foliares e artificiais utilizando a água, pode-se estabelecer uma ordem daquelas que foram mais hidrofóbicas até as menos hidrofóbicas. As superfícies foliares de soja se mostraram altamente hidrofóbicas seguidas pelas superfícies de citros, parafilme e cana-de-açúcar, que não diferiram entre si, e pelas superfícies foliares de café (Tabela 11). Estas cinco superfícies apresentaram aspecto hidrofóbico em contato com a água com ângulos superiores à  $90^\circ$  (XU et al., 2011). Na sequência aparecem as superfícies de algodão, milho e vidro como as mais hidrofílicas, com ângulos menores que  $90^\circ$  utilizando apenas água. O comportamento se repetiu quando a comparação foi feita utilizando as duas caldas fungicidas, com valores de ângulos menores para todos os tratamentos, uma vez que já existem adjuvantes internos na formulação dos produtos.

**Tabela 11** - Classificação das superfícies em hidrofóbicas e hidrofílicas em relação à água, à calda contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe e à calda com o fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir.

| Superfície Foliar | Água        |             | Azo. + manc. |             | Azo. + benz. |             |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|                   | Adaxial     | Abaxial     | Adaxial      | Abaxial     | Adaxial      | Abaxial     |
| <b>Soja</b>       | Hidrofóbica | Hidrofóbica | hidrofílica  | Hidrofóbica | Hidrofóbica  | Hidrofóbica |
| <b>Citros</b>     | Hidrofóbica | Hidrofóbica | hidrofílica  | hidrofílica | Hidrofóbica  | Hidrofóbica |
| <b>Parafilme</b>  | Hidrofóbica | Hidrofóbica | hidrofílica  | hidrofílica | Hidrofóbica  | Hidrofóbica |
| <b>Cana</b>       | Hidrofóbica | Hidrofóbica | hidrofílica  | hidrofílica | hidrofílica  | Hidrofóbica |
| <b>Café</b>       | Hidrofóbica | Hidrofóbica | hidrofílica  | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica |
| <b>Algodão</b>    | hidrofílica | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica |
| <b>Milho</b>      | hidrofílica | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica |
| <b>Vidro</b>      | hidrofílica | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica | hidrofílica  | hidrofílica |

As superfícies foliares de soja foram as mais hidrofóbicas entre todas as superfícies avaliadas neste experimento. Ao comparar superfícies foliares de soja com folhas de diferentes espécies de plantas daninhas, Mendonça (2003) também obteve resultados semelhantes, onde as folhas de soja se destacaram com alta hidrofobicidade. A autora explica que as folhas de soja apresentam grande quantidade de ceras epicuticulares na forma de cristais. Além disso, a presença de tricomas interfere muito nesta característica hidrofóbica, uma vez que as gotas acabam ficando suspensas nos tricomas e se perdendo por evaporação. Dessa forma, o uso de adjuvantes se torna fundamental para quebrar esta barreira da folha e permitir o contato e ação do produto fitossanitário no alvo.

As superfícies foliares de citros apresentaram alta hidrofobicidade, atrás apenas da soja. A presença de um filme espesso de cera epicuticular pode ter contribuído para os elevados valores de ângulo de contato de gotas obtidos no experimento, resultando em menor espalhamento quando comparada às demais superfícies. Della Vechia et al. (2016) também encontrou valores elevados de ângulo de contato de gotas sobre folhas de citros ao utilizar calda inseticida sem adjuvantes. Portanto, o uso de adjuvantes se torna uma ferramenta muito importante para esta cultura também, uma vez que maiores espalhamentos de gotas promoverá um controle mais eficiente do alvo em questão, com reflexos até na redução do volume de aplicação (DECARO JUNIOR et al., 2015; DECARO et al., 2016).

As superfícies foliares de cana-de-açúcar também apresentaram alta hidrofobicidade, ficando atrás apenas das folhas de soja e citros. Os altos valores de ângulo de contato de gotas nas folhas de cana-de-açúcar provavelmente resultaram do seu grande teor de ceras epicuticulares. É possível perceber um brilho intenso nas superfícies adaxiais e abaxiais das folhas de cana. Além disso, as nervuras paralelas presentes nas folhas de cana impedem que a gota se espalhe com facilidade.

De acordo com Lichston e Godoy (2006), as folhas de café apresentam grande teor de cera epicuticular do tipo filme, semelhante às folhas de citros, contudo o teor de cera varia ao longo do desenvolvimento foliar. No caso deste trabalho, o teor de ceras epicuticulares presentes nas superfícies foliares de café foi inferior ao teor de ceras presentes nas superfícies foliares de soja, citros e cana, mostrando-se mais hidrofílica que estas espécies.

As superfícies foliares de algodão e milho foram as que apresentaram os menores valores de ângulo de contato de gotas em comparação às demais. Tal fato pode ser relacionado à menor concentração de ceras epicuticulares nestas espécies em relação às demais superfícies foliares. Madureira et al. (2013) ao trabalhar com soluções contendo diferentes adjuvantes, obteve valores de ângulo de contato de gotas sobre folhas de algodão inferiores à 70°, caracterizando-se como uma superfície hidrofílica.

Com relação às superfícies artificiais, o parafilme apresentou alta hidrofobicidade não diferindo das superfícies foliares de citros. Santos (2017) também encontrou resultados com elevados valores de ângulo de contato de gotas sobre o parafilme com compará-lo com superfícies foliares de plantas daninhas.

Com relação ao vidro, obtiveram-se os menores valores de ângulo de contato e os maiores espalhamento de calda entre todos os tratamentos analisados. A superfície de vidro é altamente hidrofílica ( $<90^\circ$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por Iost & Raetano (2010), em estudo abordando o uso de vários adjuvantes, com diferentes dosagens, em superfície hidrofílica de vidro e em superfície hidrofóbica de óxido de alumínio, em que ocorreram os maiores ângulos de contato na superfície de óxido de alumínio. Outros autores também destacam a alta hidrofiliabilidade da superfície de vidro (XU et al, 2011; DECARO JUNIOR et al., 2015).

As superfícies foliares de café, algodão e milho apresentaram valores baixos de ângulo de contato de gotas e maior espalhamento quando submetidas à aplicação de caldas contendo o fungicida azoxistrobina + mancozebe, de tal maneira que a adição de adjuvantes juntamente com esse fungicida pode não ser necessária. Embora houve diferenças significativas nos valores de ângulo de contato e área molhada quando do uso de adjuvantes com essa calda. Pode ser utilizado algum adjuvante que melhore a absorção ou algum outro fator, ao invés de espalhante.

Portanto, é de suma importância o desenvolvimento de trabalhos que avaliem a interação de produtos fitossanitários associados a adjuvantes, sobretudo para produtos que apresentam classe de contato com seu alvo, possibilitando, assim, recomendação correta de adjuvante, visto que o seu uso pode proporcionar maior espalhamento da gota sobre a superfície de diferentes espécies de plantas, e aperfeiçoar o controle.

Com a redução do ângulo de contato das gotas em função da adição de adjuvante em superfícies vegetais com alto grau de hidrofobicidade, há maior espalhamento da calda, proporcionando maior área coberta, o que aumenta a possibilidade de que a calda entre em contato com alvo desejado ou a possibilidade de absorção do produto pela superfície foliar. Em ambos os casos espera-se maior eficácia do produto fitossanitário depositado, o que aumenta a importância do uso de adjuvantes nas aplicações em volumes reduzidos (LASMAR, 2014).

#### **4. Conclusão**

O uso dos adjuvantes em associação com os fungicidas contribuem com a redução do ângulo de contato das gotas das caldas melhorando o espalhamento, com destaque ao adjuvante siliconado.

A ocorrência de diferenças de espalhamento entre as superfícies adaxiais e abaxiais bem como a sua intensidade dependem da espécie vegetal e do produto utilizado.

#### **5. Referências**

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

DECARO JUNIOR S. T., FERREIRA M. C., LASMAR O. Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 588-600, 2015.

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

DECARO R. A.; DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C. Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain. **Ciência Rural**, v. 46, n. 1, p.13-19, 2016.

DELLA VECHIA, J. F.; SANTOS, R. T. S.; ANDRADE, D. J. ; FERREIRA, M. C. Physical characteristics of insecticide spraying liquids with mineral oil and droplets formed on citrus leaves. **Citrus Research & Technology**, v. 37, p. 102-107, 2016.

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

GIMENES, M. J.; ZHU, H.; RAETANO, C. G.; OLIVEIRA, R. B. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, v. 44, p. 84-90, 2013.

HEWITT, A. J. Spray optimization through application and liquid physical property variables-I. **Environmentalist**, v.28, p. 25-30, 2008.

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

KOLYVA, F.; STRATAKIS, E.;RHIZOPOULOU, S.; CHIMONA, C.; FOTAKIS, C. Leaf surface characteristics and wetting in *Ceratonia siliqua* L. **Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 207, p.551-556, 2012.

LASMAR, O. **Qualidade da pulverização em volume reduzido para o controle do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae)**. 2014. xvii, 85 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

LICHSTON, J. E.; GODOY de, S. A. P. Morfologia e teor de cera de folhas de café

após aplicação de fungicida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.6, p.919-926, 2006.

MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; LASMAR, O.; FERREIRA, M. C. Tensão superficial e ângulo de contato de gotas provenientes de diferentes soluções com adjuvantes em superfície foliar do algodoeiro. In: Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação, 6., 2013, Londrina. **Anais...** Londrina: Tecnologia de Aplicação: Da teoria ao campo, 2013.

MENDONÇA, Cristina Gonçalves de. **Efeito de óleos minerais e vegetais nas propriedades físico-químicas das caldas de pulverização e suas interações com superfícies foliares**. 2003. vii, 96 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2003.

MONQUERO, P.A. **Dinâmica populacional e mecanismos de tolerância de espécies de plantas daninhas ao herbicida glyphosate**. 2003. 99p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, R. T. S. **Relação do espalhamento de caldas fitossanitárias em superfícies de folhas com o controle de plantas daninhas**. 2017. 45 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017.

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

VIANA, R. G.; TUFFI SANTOS, L. D.; DEMUNER, A. J.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, E. A.; MACHADO, A. F. L.; SANTOS, M. V. Quantificação e composição química de cera epicuticular de folhas de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 753-758, 2010.

WIRTH, W., STORP, S., JACOBSEN, W. Mechanism controlling leaf retention of agricultural spray solutions. **Pesticide Science**, v.33, p.411-20, 1991.

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

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de adjuvantes associados às caldas fungicidas promoveram reduções nos valores de tensão superficial com consequência no aumento de tamanho de gotas evitando, assim, maiores perdas por deriva, além de melhorar a uniformidade das gotas.

O uso adequado e correto das tecnologias no momento da pulverização é fundamental. Conhecer o efeito de caldas contendo diferentes produtos fitossanitários e adjuvantes em relação à diferentes superfícies foliares é muito importante para posicionar as melhores combinações de caldas, visando promover assim, o efeito desejado da gota no alvo, na respectiva superfície foliar.

O espalhamento da calda foi influenciado pela interação das caldas fitossanitárias com a superfície alvo.

Podem ou não existir diferenças no espalhamento da gota depositada nas superfícies entre diferentes espécies vegetais e dentro da mesma espécie na face adaxial e abaxial.

A recomendação da adição de adjuvantes na calda fitossanitária dependerá das características morfológicas da superfície do alvo em questão.

Os adjuvantes atualmente utilizados na agricultura existem em grande número e trazem poucas informações relevantes sobre seu potencial de uso em pulverizações. Portanto, outros trabalhos devem ser conduzidos no sentido de verificar o efeito de outras classes de adjuvantes, usando-se várias concentrações em caldas fitossanitárias, analisando-se variáveis importantes para a qualidade das pulverizações. Além daquelas avaliadas no presente trabalho, podem ser consideradas também variáveis como tempo de vida de gotas aplicadas sobre superfícies vegetais e artificiais, além dos efeitos biológicos sobre os organismos alvo, sobre a espécie cultivada e sobre o ambiente.

Para a variável área molhada, a metodologia adotada neste trabalho pode ser aceita para futuras análises no laboratório utilizando gotas de aproximadamente 3-5  $\mu\text{L}$ . A imagem desta gota é capturada por meio de microscópio estereoscópico e analisada por um software no computador. Os resultados se mostraram bastante confiáveis e coerentes.