

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DE ADJUVANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS  
DA ÁGUA E NA REDUÇÃO DE DERIVA EM PULVERIZAÇÕES SOBRE  
DIFERENTES ESPÉCIES DE PLANTAS DANINHAS**

**CRISTINA ABI RACHED IOST**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP

Janeiro - 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DE ADJUVANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS  
DA ÁGUA E NA REDUÇÃO DE DERIVA EM PULVERIZAÇÕES SOBRE  
DIFERENTES ESPÉCIES DE PLANTAS DANINHAS**

**CRISTINA ABI RACHED IOST**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Proteção de Plantas).

BOTUCATU-SP

Janeiro - 2008

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

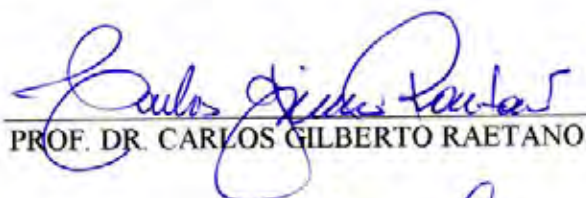
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

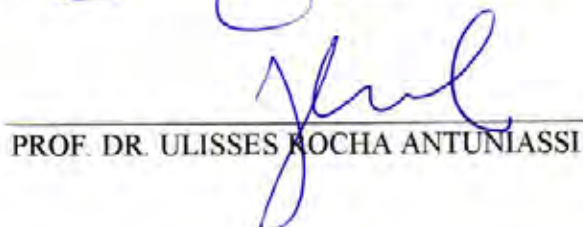
**TÍTULO: "EFEITO DE ADJUVANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA  
ÁGUA E NA REDUÇÃO DE DERIVA EM PULVERIZAÇÕES SOBRE  
DIFERENTES ESPÉCIES DE PLANTAS DANINHAS"**

ALUNA: CRISTINA ABI RACHED IOST

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS GILBERTO RAETANO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CARLOS GILBERTO RAETANO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIAS

  
\_\_\_\_\_  
PROFª DRª CRISTINA GONÇALVES DE MENDONÇA

Data da Realização: 11 de fevereiro de 2008.

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

I64e Iost, Cristina Abi Rached, 1982-  
Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas / Cristina Abi Rached Iost.- Botucatu : [s.n.], 2008.  
v, 63 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008  
Orientador: Carlos Gilberto Raetano  
Inclui bibliografia

1. Plantas daninhas. 2. Pulverização 3. Defensivos agrícolas. 4. Fitossanidade. I. Raetano, Carlos Gilberto. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

A Deus, por ter guiado meus passos e iluminado meu caminho para que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Paulo e Célia, pelo exemplo, amor, confiança e dedicação.

Ao Eduardo não só pela imprescindível ajuda para a realização deste trabalho como também por todo amor e cuidado dedicado.

Aos meus irmãos Carla e Cléber que mesmo longe fisicamente contribuíram e participaram em todas as etapas deste trabalho.

Ao meu avô Edgard (in memoriam) que me fez ter certeza da profissão que eu queria seguir.

## **Dedico**

A todos os meus familiares (Abi Rached e Iost) pelo companheirismo e apoio que me foram dados durante toda a minha vida, e por torcerem pelo meu sucesso profissional.

À Cida por ter sido minha segunda mãe, e por todas as orações feitas sempre desejando o meu bem e o meu sucesso.

## **Ofereço**

### **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano pela compreensão, amizade e por toda a contribuição prestada não só para a realização deste trabalho como também para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi e a Profa. Dra. Cristina Gonçalves Mendonça pelas sugestões e correções feitas neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira, responsável pelo Laboratório de Análise do Tamanho de Partícula da FCAV-UNESP, pela disponibilidade do laboratório, e acima de tudo, por todos os conselhos dados e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Cléber Renato Mendonça, do IFSC/USP pelo auxílio na execução desta dissertação, e pela disponibilidade do laboratório para o preparo das amostras utilizadas nas avaliações de ângulo de contato.

Aos membros do IFSC/USP, doutorando Marcos Roberto Cardoso, pelo auxílio e pela amizade e a Dra. Débora Terezia Balogh por disponibilizar o equipamento necessário para as avaliações de ângulo de contato.

À Profa. Dra. Maria Elisabete Darbello Zaniquelli e a Dra. Tathyane Morimoto Nobre, da FFCL/USP pela disponibilidade do laboratório por tornar possível grande parte desta dissertação.

Aos amigos: Rafael de Souza Christovam, Hélio de Oliveira Aguiar Junior, Gustavo Rabelo Botrel Miranda, Evandro Pereira Prado, Mário Henrique Ferreira do Amaral e Demétrius de Araújo pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

Ao gerente de produto da De Sangosse, Flávio Matarazzo Junior por ceder o adjuvante e por todo o apoio.

À Inquima, representada por Vagner José de Lima, e a Rigran por fornecerem os adjuvantes avaliados.

A todos os funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Defesa Fitossanitária, em especial à: Dinha, Fátima, Maria do Carmo, Ana Rita e Domingos.

As funcionárias da seção de pós-graduação por todos os esclarecimentos e auxílio prestado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 Resumo .....	01
2 Summary.....	03
3 Introdução.....	05
4 Revisão da Literatura .....	07
4.1 Adjuvantes .....	07
4.1.1 Adjuvantes na tecnologia de aplicação.....	08
4.2 Interferência dos adjuvantes na tensão superficial.....	09
4.3 Efeito dos adjuvantes sobre o ângulo de contato das folhas.....	12
4.4 Influência dos adjuvantes no tamanho de gotas e deriva .....	13
5 Material e Métodos .....	17
5.1 Tamanho de gotas.....	18
5.1.1 Local do experimento .....	18
5.1.2 Preparo das amostras e tratamentos.....	18
5.1.3 Condições climáticas .....	19
5.1.4 Avaliação do tamanho de gotas.....	19
5.1.5 Análise dos dados .....	21
5.2 Ângulo de contato em superfícies padrão.....	21
5.2.1 Local do experimento .....	21
5.2.2 Preparo das amostras .....	21
5.2.3 Sistema de medição do ângulo de contato .....	22
5.2.4 Análise dos dados .....	22
5.3 Avaliação da deposição e deriva .....	23
5.3.1 Local do experimento .....	23
5.3.2 Seleção das espécies vegetais e preparo dos vasos .....	24
5.3.3 Croqui das aplicações .....	24
5.3.4 Aplicação dos produtos.....	25
5.3.5 Análise estatística .....	27
5.4 Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato nas folhas .....	27

5.4.1	Local do experimento .....	27
5.4.2	Preparo das amostras .....	27
5.4.3	Sistema de avaliação da tensão superficial e do ângulo de contato .....	28
5.4.4	Análise dos dados .....	29
6	Resultados e Discussão .....	30
6.1	Tamanho de gotas.....	30
6.2	Ângulo de contato em superfícies padrão ( $\theta$ ) .....	38
6.3	Avaliação da deposição e deriva .....	44
6.3.1	Avaliação dos depósitos sobre as plantas .....	44
6.3.2	Avaliação da deriva.....	46
6.3.2.1	Aplicações sobre <i>Euphorbia heterophylla</i> .....	46
6.3.2.2	Aplicações sobre <i>Ipomoea grandifolia</i> .....	47
6.3.2.1	Aplicações sobre <i>Brachiaria plantaginea</i> .....	49
6.4	Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato nas folhas .....	50
6.4.1	Tensão superficial dinâmica.....	50
6.4.2	Ângulo de contato nas folhas .....	52
7	Conclusão .....	56
8	Referências .....	58



## 1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de adjuvantes sobre algumas propriedades de soluções aquosas, como tamanho de gotas, tensão superficial dinâmica e ângulo de contato das gotas em diferentes superfícies, natural e artificial, bem como avaliar o efeito desses produtos sobre a deposição e a deriva utilizando como alvo três espécies de plantas daninhas (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria plantaginea*). Seis formulações de adjuvantes (Antideriva®, Uno®, Pronto 3®, Li-700®, Supersil® e Silwet L-77®) foram avaliadas em soluções aquosas contendo a dose recomendada do produto comercial e o dobro dela. As avaliações de tamanho de gotas foram feitas com três diferentes pontas de pulverização (AXI 110 015, 110 02 e 110 03) por um equipamento a laser (Mastersizer, Malvern) na pressão de trabalho de 414 kPa. Os ângulos de contato formados pelas gotas em duas superfícies, uma hidrofílica (vidro) e outra hidrofóbica (óxido de alumínio), foram obtidos por análise de imagens capturadas por uma câmera digital. As avaliações de deposição e deriva das soluções aquosas associadas ou não aos adjuvantes e contendo o traçador azul brilhante (0,15% v/v), foram feitas sobre diferentes espécies vegetais, e com o auxílio de coletores laterais (placas de Petri). A quantificação do traçador foi por feita espectrofotometria. A tensão superficial dinâmica e o ângulo de contato formado sobre as superfícies adaxiais das folhas foram medidos por um tensiômetro. Em relação ao tamanho de gotas, o adjuvante Antideriva, com dobro da dose recomendada, foi o que apresentou os menores valores percentuais de volume de gotas com diâmetro menor que 100 µm e os

maiores DMV, para todas as pontas em teste. As soluções que proporcionaram as maiores reduções na tensão superficial dinâmica e os menores ângulos de contato das gotas sobre as superfícies hidrofílica e hidrofóbica, bem como nas folhas foram as que possuíam os adjuvantes Silwet L-77 e Supersil nas duas doses avaliadas. Os maiores depósitos sobre as plantas corda-de-viola foram obtidos com o adjuvante Uno com o dobro da dose; sobre as plantas de capim-marmelada o maior depósito foi proporcionado pelo adjuvante Li-700 (200% da dose recomendada). Os adjuvantes não influenciaram sobre os depósitos na deriva em pulverizações sobre plantas de amendoim-bravo. Em relação à deriva sobre as plantas de corda-de-viola, nas laterais esquerda e direita os tratamentos contendo o Silwet L-77, e Pronto 3, nas doses recomendadas, foram os que proporcionaram os menores depósitos, respectivamente. Na pulverização sobre as plantas de capim-marmelada o adjuvante Pronto 3 (200% da dose recomendada) foi o que proporcionou os menores valores na lateral esquerda. Pode-se constatar que o uso de adjuvantes influencia algumas propriedades da solução aquosa, porém o tipo de adjuvante e a condição em que será utilizado devem ser considerados antes do seu emprego.

**Palavras chave:** tamanho de gotas, tensão superficial dinâmica, ângulo de contato, depósitos de pulverização.

EFFECTS OF ADJUVANTS IN THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER AND DRIFT REDUCTION WHEN SPRAYING ON WEEDS. Botucatu, 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CRISTINA ABI RACHED IOST

Adviser: CARLOS GILBERTO RAETANO

## 2. SUMMARY

The aim of this work is to evaluate the effect of adjuvants on droplet size, dynamic surface tension and contact angle formed by the water drops in different surfaces, as well as evaluating the adjuvants effect on the deposit and the spray drift using three species of plants (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria plantaginea*). We studied six adjuvants formulations (Antideriva™, Uno™, Pronto 3™, Li-700™, Supersil™ and Silwet L-77™) in water solution using the dosage recommended by the manufacturer and twice that dose. The droplet size of three different nozzles (AXI 110 015, 110 02 and 110 03), for a constant pressure of 414 kPa, were evaluated by a laser system. The contact angles of the drops in two surfaces (hydrophilic and hydrophobic) were obtained by the analysis of images captured by a digital camera. The evaluation of deposition and spray drift deposition of the solutions containing brilliant-blue dye (0.15 % v/v) were carried out in different plant species. The solutions were collected laterally using Petri dishes, and the brilliant-blue dye content quantified by absorption spectroscopy. The dynamic surface tension and the angle formed on the surfaces of the leaves were measured by a tensiometer. Regarding the droplet size, for all the nozzles tested the adjuvant Antideriva with twice the recommended dose presented the lowest percentage of spray volume in droplets with diameters smaller than 100µm, and highest VMD. The solutions that provided the highest reductions in the dynamic surface tension and the smallest contact angle were the ones with the adjuvants Silwet L-77 and Supersil for both appraised doses. The largest deposit average for *I. grandifolia* was obtained by using Uno with double of the dose; for *B. plantaginea* the largest deposit was

observed by the treatment with Li-700 (200% of the recommended dose). We did not observe any influence of the adjuvants on the deposit and spray drift deposition for *E. heterophylla*. The spray drift deposition for *I. grandifolia* using Silwet L-77 and Pronto 3, in the recommended doses, were the ones providing the lowest deposit values in the left and right sides, respectively. For *B. plantaginea* the adjuvant Pronto 3 (200% of the recommended dose) exhibited the lowest values in the left side. The highest deposit value in the center was obtained with Li-700 in the recommended dose. This study reveals that the use of adjuvants affect some properties of the water. However, the adjuvant type and usage condition must be taken in consideration before its employment.

---

Keywords: droplet size, dynamic surface tension, contact angle, spray deposit.

### 3 INTRODUÇÃO

Existem atualmente diversos produtos para uso agrícola que são recomendados para atuar junto à calda de pulverização com o intuito de modificar características físico-químicas. Estes produtos são denominados adjuvantes e podem ser classificados, de acordo com a sua atuação, como: quelatizantes e acidificantes, redutores de pH, surfatantes, ativadores nitrogenados, espalhantes adesivo, anti-espumantes, rebaixadores de fitotoxicidade, anti-evaporantes, espessantes, redutores de deriva e filtros solar, além dos adjuvantes complexos que possuem múltiplas funções (KISSMAN, 1997). Os termos “adjuvantes” e “surfatantes” tem sido comumente usados ao se referir a determinados grupos de substâncias sem defini-los adequadamente. Os Surfatantes são tidos como adjuvantes que atuam modificando as forças interfaciais, com orientação das suas moléculas entre as interfaces, promovendo um ajustamento mais íntimo de duas substâncias.

Ainda não está claramente definida a real necessidade de uso destes adjuvantes em pulverizações. Assim, estudos detalhados sobre a ação dos adjuvantes na melhoria do desempenho da aplicação são indispensáveis. Em muitos casos, a recomendação vai além das características da calda que estes produtos costumam modificar, necessitando de uma avaliação do alvo da pulverização, das condições ambientais e climáticas e de quais equipamentos serão utilizados para aplicação.

No geral, os surfatantes são utilizados para favorecer, dentre outros fatores, o espalhamento e a absorção, bem como reduzir a tensão superficial da calda. A tensão

superficial é um fator relacionado à característica de soluções aquosas e que tem grande importância por estar relacionada a molhabilidade e a superfície de contato da calda com o alvo. Outra característica que também pode ser modificada pela adição de adjuvantes à calda de pulverização é a perda por deriva. Este fator além de ter um impacto econômico por impedir que o produto atinja o alvo, também pode causar danos ambientais levando moléculas de ingrediente ativo para outras áreas ou para rios e lagos. A deriva é fortemente influenciada pelo tamanho de gotas formadas e pelas condições climáticas, principalmente pela velocidade do vento no momento da aplicação. Contudo, ainda não é possível definir ao certo o quanto cada grupo de adjuvante age sobre cada uma das características da calda e o quanto estes produtos minimizam a ação de fatores externos sobre os produtos fitossanitários.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito de adjuvantes sobre algumas propriedades físico-químicas de soluções aquosas, bem como avaliar o efeito desses produtos sobre a deposição e a deriva utilizando como alvo três espécies de plantas daninhas (*Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria plantaginea*).

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1 Adjuvantes

Adjuvantes podem ser definidos como produtos que adicionados aos agroquímicos aumentam o desempenho da solução (STICKLER, 1992; DURIGAN, 1993). Kissmann (1997) definiu de maneira mais complexa, como sendo qualquer substância ou composto sem propriedade fitossanitária, exceto a água, que é acrescido numa preparação de produto fitossanitário para facilitar a aplicação, aumentar a eficiência ou diminuir riscos. Outro objetivo desta classe de produtos é melhorar sua performance devido à propriedade que alguns deles têm de alterar a permeabilidade das membranas já que nem todos adjuvantes atuam da mesma maneira (STOUGAARD, 1997). Para o sucesso na utilização de adjuvantes é necessário conhecer os processos vitais do alvo, ou seja, das plantas daninhas, dos insetos e dos fungos (STICKLER, 1992).

Os surfatantes em solução aquosa podem ou não se ionizar. Quando ioniza positivamente (catiônicos) com o produto fitossanitário são caracterizados pela forte reação podendo aumentar a fitotoxicidade. Por outro lado, alguns produtos que se ionizam negativamente (aniônicos) podem formar quantidades acentuadas de espuma, tornando-os assim indesejáveis durante o preparo da calda (DURIGAN, 1993). Os não-iônicos são os mais utilizados e podem ser classificados em etoxilados, propoxilados, polímeros de bloco e organosiliconados.

Green (2001) menciona que os fatores que interferem negativamente no resultado das aplicações dos produtos fitossanitários, geralmente, são os mesmos que interferem na performance dos adjuvantes. Para o autor, as empresas responsáveis pelas formulações de adjuvantes devem realizar muitos testes para definir os limites de sua recomendação. O sucesso da aplicação vai depender da escolha do defensivo certo com o adjuvante certo. O autor lista os fatores que interferem sobre os adjuvantes nas diferentes etapas em que estes produtos costumam agir: durante a mistura no tanque (a compatibilidade e estabilidade da mistura, a qualidade da água, o pH, a formação de espuma, a dispersão e a agitação); na aplicação (forma do jato e a abertura das pontas de pulverização, calibração, pressão, volume perdido por evaporação, vento e velocidade de deslocamento); na deposição (espalhamento das gotas, chuvas, orvalho, umidade, emissão de raios U.V. e superfície do alvo); na retenção (velocidade, ângulo e tamanho da gota, superfície das folhas, arquitetura da planta, tensão superficial e viscosidade); na penetração (idade e densidade das folhas, composição e estrutura da planta, propriedades físico-químicas e solubilidade das gotas e condições ambientais); e na translocação (espécie da planta, estágio de crescimento, fisiologia e fitotoxicidade).

#### **4.1.1 Adjuvantes na tecnologia de aplicação**

Em qualquer pulverização, o requisito básico é que a calda de pulverização seja colocada exatamente no alvo desejado. Existem inúmeros fatores que podem influenciar no resultado da pulverização, dentre eles pode-se destacar: o tipo de alvo a ser atingido; espectro, diâmetro médio e densidade das gotas pulverizadas; volume de pulverização; deriva; evaporação; cobertura e penetração das gotas nas folhagens (VELLOSO e SOUZA, 1996; CHRISTOFOLETTI, 1997).

Em muitas aplicações, atingir o alvo biológico de maneira direta torna-se difícil em função de sua localização. Nestas situações, uma das alternativas que evita o desperdício oriundo, por exemplo, do aumento do volume de calda para que uma pequena parte possa atingir o alvo de forma direta e exercer o controle, é trabalhar com produtos com capacidade de redistribuição (RAMOS, 2001). Uma outra opção para proporcionar características desejáveis é a adição de adjuvantes às caldas de pulverização.



Salyani (1987) realizou ensaios nos quais avaliou a deposição de dois tipos de misturas (água e água mais o surfatante Ortho X-77 a 0,1% v/v) utilizando diferentes velocidades de deslocamento e diferentes espectros de gota na cultura de citros, e concluiu que a adição do surfatante melhorou consideravelmente a deposição da calda sobre o alvo em todos os espectros de gota avaliados.

Stevens et al. (1988) avaliaram o desempenho de 15 tipos de compostos, sendo 14 deles produtos fitossanitários, com e sem a adição do surfatante NPE8 (nonilfenol etoxilado) na concentração de 1g/L em quatro culturas (nabo, milho, beterraba e morango) e concluíram que a absorção foliar, a retenção e a translocação pode muitas vezes ser favorecida pela adição do adjuvante, porém estes fatores também são significativamente influenciados pelas condições climáticas e pelas características morfológicas de cada cultura.

Em relação ao uso de adjuvantes junto a herbicida, Appleby (1983) recomenda que estes não devem ser utilizados quando podem prejudicar a seletividade.

#### **4.2 Interferência dos adjuvantes na tensão superficial**

A água é um solvente universal e é o veículo mais importante para a aplicação de produtos fitossanitários. No entanto, devido a elevada tensão superficial ( $72,6\text{mN m}^{-1}$ ) apresenta baixa capacidade de retenção quando aplicada sobre alvos com superfícies cerosas e hidrófobas, como a cutícula das plantas. Esta propriedade pode ser definida como a tendência das moléculas superficiais de um líquido em serem atraídas para o centro do corpo deste fluido, modificando a orientação das moléculas e possibilitando assim maior contato entre dois líquidos ou do líquido com a superfície vegetal. A tensão superficial é variável de líquido a líquido e depende também dos solutos. No caso da água pura, a tensão tende a formar gotas esféricas. Pressões externas, como a gravidade, causam deformações; forças diversas causam rupturas com reagrupamento em gotículas menores (KISSMANN, 1997). Assim, em muitas aplicações de produtos fitossanitários se faz necessário o uso de substâncias que amenizem essa característica da água ou que proporcione melhor colocação do produto sobre o alvo.

Segundo Green e Hazen (1998), a tensão superficial está relacionada entre as propriedades dos adjuvantes que influenciam na atividade biológica dos produtos

fitossanitários. Com a redução desta propriedade têm-se os efeitos molhante, espalhante e penetrante. Os adjuvantes que possuem a característica de modificar a tensão superficial são denominados surfatantes (DURIGAN, 1993; KISSMANN, 1997).

Palladini (2000), avaliando a tensão superficial de soluções aquosas com inseticidas, acaricidas e fungicidas, sem que fossem adicionados adjuvantes, encontrou o menor valor de tensão superficial para o fungicida Saprool com  $30,80 \text{ mN m}^{-1}$  e o maior valor para o acaricida Vertimec com  $40,81 \text{ mN m}^{-1}$ . Costa (1997) verificou que a presença de uma formulação comercial de glifosato (Rodeo SC) em várias concentrações (1,0; 2,0; 3,5; 5,0; 7,5 e 10 L/ha) proporcionaram valores de tensão superficial diferentes e inferiores aos verificados na sua ausência, mesmo com a adição de adjuvantes. Isto significa que muitas formulações comerciais já apresentam alguns componentes que reduzem a tensão superficial, porém em alguns casos essa redução não é suficiente ou ainda é necessário que mais algumas propriedades da calda de pulverização sejam melhoradas.

Mendonça et al. (2007) avaliaram a tensão superficial estática de óleos minerais (Assist, Attach, Dytrol, Iharol, Mineral Oil, Spinner, Sunspray-E, Triona) e óleos vegetais (Agrex`oil vegetal, Crop Oil, Natur`l Oil, Óleo Vegetal Nortox e Veget Oil) utilizados na agricultura, em concentrações que variaram de 0,025% a 3% v/v. Dos óleos minerais avaliados, em concentrações acima de 1% v/v, os valores de tensão superficial foram semelhantes, com exceção do Sunspray-E que apresentou valores entre  $69,70 \text{ mN m}^{-1}$  (1% v/v) a  $70,52 \text{ mN m}^{-1}$  (2,5% v/v). Entre os óleos vegetais, em concentrações acima de 1% v/v, os valores de tensão superficial também foram semelhantes entre eles, tendo como exceção o Óleo Vegetal Nortox que apresentou os mais altos valores variando entre  $51,89 \text{ mN m}^{-1}$  (1% v/v) e  $34,58 \text{ mN m}^{-1}$  (3% v/v). Os autores observaram também que os óleos não são tão eficientes em reduzir a tensão superficial em baixas concentrações quando comparados a outros adjuvantes que não contêm óleo em sua formulação.

Estudo realizado por Montório (2001) mostrou que os adjuvantes organossiliconados Silwet L-77 e Break Thru foram os que atingiram os menores valores de tensão superficial estática, chegando a  $20 \text{ mN m}^{-1}$  em soluções aquosas. Neste estudo foram avaliados 15 adjuvantes presentes no mercado e todos atingiram tensão superficial iguais ou inferiores a  $35 \text{ mN m}^{-1}$ . Resultado semelhante foi observado por Sun e Foy (1998) onde os adjuvantes organossiliconados Silwet L-77, Silwet 408 e Sylgard 309 também apresentaram

tensão superficial estática de  $20 \text{ mN m}^{-1}$ , enquanto que os demais (não siliconados) apresentaram valores entre  $24,8$  e  $36,7 \text{ mN m}^{-1}$ .

Matuo et al. (1989) estudaram a interferência na tensão superficial de adjuvantes pertencentes a diferentes classes: Agral-S, Energic e Iharagen-S (espalhantes adesivo não iônico), Ag-Bem (espalhante adesivo), Aterbane e Joint (surfatantes agrícola), Nalcotrol e Sta-Put (agentes controladores de deriva), Tenac-Sticker (adesivo-espalhante) e OED-Green (antievaporante) sobre as características físicas dos líquidos, em 3 diferentes concentrações (50, 100 e 200% da dose recomendada), e observaram que mesmo os produtos não classificados como surfatantes ou espalhantes contribuíram para reduzir a tensão superficial, apresentando valores que variaram entre  $46,1$  a  $55,5 \text{ mN m}^{-1}$  para os produtos classificados como controladores de deriva.

Dexter e Huddleston (1998) estudaram a tensão superficial dinâmica de caldas de pulverização preparadas com o herbicida imazetapir contendo os adjuvantes Trycol 5952, Silwet L-77, X 77 Spreader e Sun It II em concentrações que variavam entre 0,002 a 1,0% v/v. Foi constatado que a tensão superficial dinâmica apresentou redução significativa nas caldas onde os adjuvantes foram usados em concentrações superiores a 0,1% v/v, com exceção do adjuvante Sun It II que não apresentou reduções significativas em nenhuma das concentrações em que foi avaliado. Neste mesmo trabalho os autores avaliaram a interferência da tensão superficial dinâmica no tamanho de gotas formadas durante as pulverizações e observaram que as formulações que apresentaram tensões superficiais dinâmicas entre  $66$  a  $25 \text{ mN m}^{-1}$  proporcionam a formação de gotas menores.

Ao avaliar a tensão superficial dinâmica de soluções contendo os herbicidas 2,4 D mais glyphosate, Costa (2006) constatou que em soluções aquosas sem herbicida, contendo apenas os adjuvantes Tripart Minax, Ethokem, Actipron, Introcrop Rigger e Silwet L-77 num tempo de interface de 0 a 1000 mS as tensões superficiais dinâmica iniciaram próximas a  $70 \text{ mN m}^{-1}$  e mantiveram-se acima de  $50 \text{ mN m}^{-1}$ , exceto para a solução contendo o adjuvante Rigger que resultou em valores iniciais inferiores a  $60 \text{ mN m}^{-1}$  e abaixo de  $50 \text{ mN m}^{-1}$  ao final da avaliação. Nas soluções contendo os herbicidas a variação da tensão dinâmica superficial foi menor, sendo que os valores iniciais estiveram entre  $50$  e  $55 \text{ mN m}^{-1}$ , chegando ao redor de  $40 \text{ mN m}^{-1}$ , entretanto a solução de herbicidas contendo Silwet L-77 apresentou a tensão inicial inferior a  $50 \text{ mN m}^{-1}$ , atingindo menos de  $30 \text{ mN m}^{-1}$  aos 1000 mS.

### 4.3 Efeito dos adjuvantes sobre o ângulo de contato das gotas

As gotas formadas durante o processo de pulverização ao depositarem nas plantas formam um ângulo de contato com a superfície. O grau de angulação constituído por esta gota vai depender, além da solução que está sendo aplicada, das características desta superfície. No caso da água, se esta superfície for hidrófoba (cerosa) o contato será menor, a gota será esférica e o ângulo de contato será maior; se a superfície for mais hidrófila a água da gota se espalhará podendo até formar um filme uniforme. Numa planta a molhabilidade de suas folhas depende dos constituintes de sua epiderme, a atração pela água precisa ser maior que a tensão superficial desse líquido para uma boa molhabilidade (KISSMANN, 1997).

É possível medir o ângulo com que uma gota fica na superfície e com isto caracterizar a superfície. O ângulo de contato de uma gota de água numa folha, no vidro, no azulejo, etc. são todos diferentes. O ângulo de contato influencia a distribuição da água ou da solução numa superfície, determinando assim, o molhamento da mesma. Quando este ângulo é igual a  $0^\circ$  trate-se de um caso extremo de máxima afinidade química entre a superfície e o líquido e, portanto, haverá espalhamento completo do líquido na superfície. Quando é igual ou muito próximo a  $180^\circ$  é o outro caso extremo, onde líquido não apresenta qualquer interação com a superfície. Quando o ângulo de contato é menor que  $90^\circ$  podemos considerar que a superfície é molhada pelo líquido (MOITA NETO, 2006).

Trabalho realizado por Bukovac et al. (1995) ilustrou os efeitos dos adjuvantes em relação a molhabilidade de folhas e o volume de aplicação, mostrando que em altos volumes de aplicação as gotas depositadas sobre as folhas de cerejeira apresentaram uma relação crescente e linear entre tensão superficial, ângulo de contato e retenção. Ou seja, para o tratamento em que foi adicionado o adjuvante Silwet L-77 a 0,01% (v/v) obteve-se o menor valor de tensão superficial ( $22,3 \text{ mN m}^{-1}$ ) o menor ângulo de contato ( $\theta = 24^\circ$ ) e a menor retenção ( $1,8 \mu\text{L cm}^{-2}$ ). Neste mesmo trabalho os autores verificaram que utilizando baixo volume de aplicação e o adjuvante Ortho X-77 em diferentes concentrações ocorreu um aumento na área da interface das gotas com as plantas (diminuindo o ângulo de contato), sendo este aumento proporcional a concentração do produto.

Sun e Foy (1998) estudaram o ângulo de contato formado por diferentes soluções contendo adjuvantes organossiliconados (Silwet L-77, Silwet 408 e Sylgard

309) e não siliconados (Kinetic, Dyne-Amic, X-77, MSO, Rigo Oil e Agrix-Dex) além de uma solução contendo apenas o herbicida nicosulfuron. Foi utilizado como superfície folhas de malvão (*Abutilon theophrasti*). Os autores constataram que o grupo de adjuvantes organosiliconados atingiu ângulo de contato de 0°, formando um filme uniforme com as folhas, enquanto que os demais adjuvantes apresentaram valores entre 56,2 a 86,5°. A solução contendo apenas o herbicida nicosulfuron apresentou ângulo de contato de 95,8°. Em outro experimento, realizado em 1995, estes autores relacionaram o ângulo de contato formado com a absorção em folhas de malvão (*Abutilon theophrasti*), utilizando organosiliconados a 0,25% junto a uma formulação de primisulfuron. Foram utilizados como testemunha a formulação contendo apenas o herbicida e um tratamento contendo apenas água. Para todos os tratamentos onde foram adicionados os organosiliconados o ângulo de contato com a superfície das folhas foi de 0°, enquanto que a solução contendo apenas primisulfuron obteve uma angulação de 81° e a água obteve um ângulo de 103°. Quanto a capacidade de absorção, o adjuvante que obteve o pior resultado aumentou em 4,5 vezes a capacidade de absorção da folha. O adjuvante que obteve o melhor resultado aumentou 26 vezes a capacidade de absorção da folha em comparação com a água e com a solução de primisulfuron sem adjuvantes (SUN e FOY, 1995).

#### **4.4 Influência dos adjuvantes no tamanho de gotas e na deriva**

A deriva e a evaporação de gotas são considerados os principais fatores que afetam as perdas durante a pulverização (COMBELLACK, 1981). Para compensar estas perdas os produtores costumam aumentar as doses dos produtos fitossanitários utilizados e os volumes de aplicação gerando perda por escorrimento. Assim, dependendo do alvo da aplicação, deve-se cuidar para que não sejam produzidas gotas muito grandes nem muito pequenas. Gotas menores que 100µm são arrastadas com facilidade pelo vento e gotas maiores que 800µm tendem a escorrer da superfície das folhas (LEFEBVRE, 1989).

Cunha et al. (2004), em ambiente controlado, estudaram o espectro de gotas de soluções aquosas contendo corante preto na faixa de pressão de 200 a 400 kPa para as pontas de jato plano API, e de 400 a 600 kPa para as pontas de jato cônico vazio ATR. As pontas de pulverização de jato cônico vazio apresentaram gotas de menor tamanho em relação

aquelas produzidas pelas pontas de jato plano, proporcionando maior densidade de gotas depositadas sobre a superfície alvo. Porém, por produzirem gotas de menor diâmetro este modelo de ponta requer maiores cuidados durante aplicação, principalmente se as condições climáticas favorecem as perdas por deriva.

Chaim et al. (1999) verificaram que na cultura do tomate estaqueado, 24 a 41% do produto aplicado fica na planta, 20 a 30% vai para o solo e 30 a 45% é perdido por evaporação e/ou deriva. Neste mesmo trabalho, foi verificado que na pulverização usando um pulverizador estacionário com lanças manuais e pontas de jato plano, as gotas não são arremessadas com força suficiente para que atinjam a linha de plantio adjacente, e assim, somente uma lateral das plantas recebe uma deposição mais expressiva. Ramos et al. (2001) avaliaram o tamanho de gotas produzido pelos bicos que normalmente equipam os pulverizadores semi-estacionários, em diferentes faixas de pressão, e observaram que, na faixa de pressão normalmente utilizada pelos agricultores, o diâmetro mediano volumétrico (DMV) variou de 60 a 70  $\mu\text{m}$ , evidenciando a alta probabilidade de evaporação e deriva da calda pulverizada com este equipamento.

Além da interferência das pontas de pulverização, a deriva e o tamanho das gotas também são fortemente afetados pelas características físico-químicas da calda (BODE et al., 1976). Algumas pesquisas com gotas individualizadas e sob efeitos de condições controladas demonstraram também uma estreita relação entre o tamanho das gotas, características físicas da calda, temperatura, umidade relativa do ar e a taxa de evaporação (AMSDEN, 1962).

Existe o conhecimento de que os adjuvantes podem ter um efeito significativo sobre o tamanho de gotas em pulverizações agrícolas (BUTLER ELLIS et al., 1997). Os adjuvantes denominados como redutores de deriva têm sido desenvolvidos para modificar o espectro de gotas, mas muito outros adjuvantes, utilizados para melhorar a dinâmica da gota sobre o alvo, também influenciam o tamanho das gotas (BUTLER ELLIS e TUCK, 1999).

As características da pulverização, principalmente o tamanho e a velocidade das gotas podem ser significativamente modificados pela adição de formulações ao tanque. Em pontas de jato plano existe maior pré-disposição para soluções contendo surfatantes reduzirem o tamanho de gota e a velocidade, enquanto emulsões aumentam estas

características, porém este comportamento não pode ser generalizado para todas as situações e para todos os modelos de pontas disponíveis no mercado (BUTLER ELLIS, 2004).

Butler Ellis e Tuck (1999) destacam a importância de se estudar a interferência das propriedades físicas dos líquidos na quebra da lâmina de água e conseqüentemente no tamanho de gotas, principalmente das pontas de jato plano, que é um dos modelos mais utilizados na agricultura. Os autores ainda destacam a dificuldade de se estudar minuciosamente a relação entre líquidos e tamanho de gotas devido ao fato de existir uma enorme variedade de modelos de pontas de pulverização no mercado, cada um com uma faixa de pressão recomendada.

Miller et al. (1995) avaliaram as características físicas (tamanho e velocidade) das gotas produzidas por pontas de jato plano operando a pressão de 3 bar em três diferentes vazões (0,4; 1,6 e 3,2 L/min). As soluções avaliadas eram constituídas por água mais adjuvantes (Agral, Ethokem, Li-700, Axiom, Codacide e o Silwet L-77). Este trabalho mostrou que a velocidade das gotas foi dependente das propriedades dos líquidos. Eles observaram que se a desintegração do jato é o mecanismo de formação das gotas (o que ocorreu com a adição dos adjuvantes Li-700, Axiom, Codacide e o Silwet L-77) a velocidade tende a ser maior do que quando a formação das gotas ocorre pela oscilação do jato (Agral, Ethokem). Nas soluções em que foram adicionados os adjuvantes Li-700, Codacide e Silwet L-77 os autores observaram os maiores valores de DMV. Um dos parâmetros avaliados pelos autores foi a porcentagem do volume em gotas com diâmetro menor que 100 $\mu$ m, e observaram que a solução contendo o adjuvante Li-700 (0,5% v/v) foi a que apresentou as menores porcentagens: 5,7% (vazão de 0,4 L min<sup>-1</sup>); 1,3% (vazão de 1,6 L min<sup>-1</sup>) e 0,9% (vazão de 3,2 L min<sup>-1</sup>).

Matuo et al. (1989) estudaram o diâmetro de gotas originadas de um tubo capilar, e observaram que este parâmetro sofreu variação com a adição dos adjuvantes, sendo que os produtos Aterbane, Energic, OED-Green e Joint levaram a produção de gotas menores do que as formadas pelo tratamento sem adjuvantes. Porém, entre os produtos testados os autores observaram também que os adjuvantes recomendados para a redução de deriva (Nalcotron e Sta-Put) foram os que produziram gotas maiores.

A diminuição no tamanho das gotas geralmente melhora a performance dos herbicidas, entretanto, isso tende a aumentar a deriva, podendo requerer

algumas modificações nos equipamentos de pulverização (KNOCHE, 1994). Dexter (2006) reporta que alguns herbicidas requerem gotas pequenas para uma melhor performance, portanto técnicas para a redução de deriva que aumentem o tamanho das gotas podem reduzir a eficácia no controle de plantas daninhas.

Estudo averiguando a influência dos adjuvantes Agral, Ethokem, Actipron, Codacide, Silwet L-77 e Li-700 na distribuição do volume de aplicação com diferentes pontas em três diferentes pressões mostrou que em quatro das cinco pontas avaliadas os adjuvantes influenciaram na distribuição das gotas quando as pressões de trabalho foram de 1 bar (BUTLER ELLIS et al., 1997).

As características físicas e químicas da solução pulverizada influenciam em vários aspectos a deposição da calda. Porém, a escala em que ocorrem estes efeitos é altamente dependente de características da cultura, como densidade e idade das plantas (BUTLER ELLIS, 2004).



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram escolhidos seis diferentes adjuvantes presentes no mercado. Buscou-se selecionar produtos recomendados pelos fabricantes como redutores de deriva e compará-los ao Silwet L-77 que já possui características bem definidas. Os adjuvantes e seus respectivos ingredientes ativo e grupos químico estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características dos adjuvantes.

<b>Marca Comercial</b>	<b>Ingrediente ativo</b>	<b>Grupo Químico</b>	<b>Classificação</b>
Antideriva	nonil fenol etoxilado	etoxilado	tensoativo/emulsionante
Uno	nonil fenol etoxilado	etoxilado	tensoativo/anti-deriva
Pronto 3	lecitina	lecitina	anti-deriva/anti-espumante
Li 700	lecitina e ácido propiônico	lecitina e ácido propiônico	surfatante/acidificador
Supersil	polímero glicol silano	organosiliconado	espalhante adesivo
Silwet L-77	copolímero de poliéter e silicone	organosiliconado	agente molhante

## 5.1 Tamanho de gotas

### 5.1.1 Local do experimento

As avaliações do tamanho das gotas foram realizadas no Laboratório de Análise do Tamanho de Partícula (LAPAR) localizado no Departamento de Fitossanidade – Tratamento Fitossanitário da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, nos dias 26 e 27 de julho de 2007.

### 5.1.2 Preparo das amostras e tratamentos

Para realizar as avaliações foram preparados dois litros de calda para cada um dos tratamentos. Foi utilizado como solvente a água destilada. As soluções foram preparadas minutos antes de serem testadas, e além das caldas contendo os produtos foram avaliados também o tamanho das gotas obtido apenas com a água destilada. Os produtos e as respectivas dosagens estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Dosagens recomendadas dos adjuvantes e o dobro delas em solução aquosa para avaliação do tamanho de gotas.

PRODUTO	DOSAGENS (%v/v)	
	recomendada	dobro
Antideriva	0,050	0,100
Uno	0,025	0,050
Pronto 3	0,100	0,200
Li 700	0,250	0,500
Supersil	0,100	0,200
Silwet L-77	0,100	0,200

Foram selecionadas três diferentes pontas de pulverização, todas de jato plano. Os modelos testados foram: AXI 110 015, 110 02 e 110 03. A pressão de trabalho foi de 414 kPa (4,14 bar) e as vazões obtidas foram: 0,855 L min<sup>-1</sup> (AXI 110 015), 1,071 L min<sup>-1</sup> (AXI 110 02) e 1,650 L min<sup>-1</sup> (AXI 110 03).

### 5.1.3 Condições climáticas

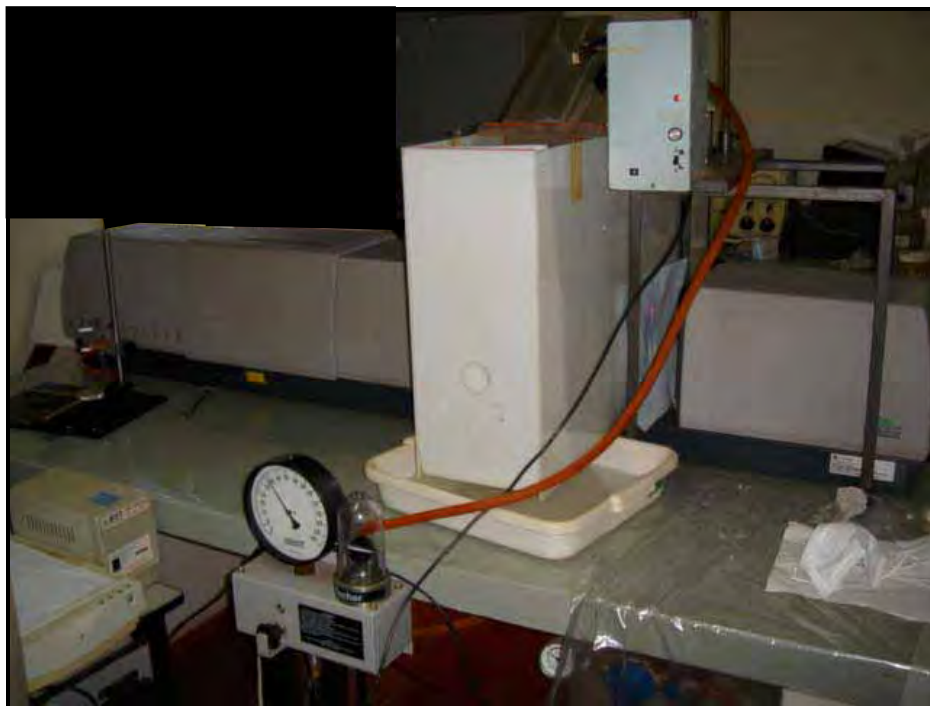
A temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas durante os dois dias de avaliação com o auxílio de um termo-higrômetro. Na Tabela 3 estão apresentadas as variações de temperatura e umidade relativa do ar registradas no laboratório nos respectivos dias de avaliação.

**Tabela 3.** Condições climáticas durante a realização do experimento.

<b>Dia</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>UR do ar (%)</b>
26/07/2007	Antideriva	17 a 19	44 a 48
	Uno		
	Pronto 3		
27/07/2007	Li 700	17 a 19	54 a 56
	Supersil		
	Silwet		
	Água		

### 5.1.4 Avaliação do tamanho de gotas

Para avaliação do tamanho de gotas utilizou-se um medidor de partículas a laser Malvern modelo Mastersizer (Figura 1), tendo como parâmetros técnicos: um canhão de laser He-Ne de 5 mW de potência com comprimento de onda de 633 nm e faixa de medição de gotículas de 4 a 2000 micra. O equipamento é conectado a um computador que analisa e armazena as informações através do software Mastersizer - S v.219. Durante a avaliação, movimentou-se a ponta de pulverização de modo que interceptasse transversalmente o laser, possibilitando assim, a amostragem da área de pulverização (Figura 2). Segundo Cunha et al. (2004) este tipo de analisador baseia-se na medição da luz - feixe de laser disperso durante a passagem das gotas pela região de amostragem do aparelho. O aparelho dispõe de unidade óptica que detecta padrão de difusão da luz ao passar por um conjunto de partículas. O desvio que o feixe sofre depende do tamanho de partícula. Quanto menor a partícula, maior o grau de difusão que o feixe sofre.



**Figura 1.** Laser modelo Mastersizer medidor do tamanho de gotas.



**Figura 2.** Sistema responsável pela movimentação da ponta de pulverização transversalmente ao feixe de luz.

### **5.1.5 Análise dos dados**

Para cada um dos tratamentos foram selecionadas três pontas do mesmo modelo, e cada ponta foi avaliada três vezes, totalizando nove repetições por tratamento. Foram obtidos com este sistema os valores do Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV) e da porcentagem de volume de gotas com diâmetro abaixo de 100  $\mu\text{m}$ . Os dados relativos ao DMV e a % de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2000).

## **5.2 Ângulo de contato em superfícies padrão**

### **5.2.1 Local do experimento**

As avaliações do ângulo de contato das gotas foram realizadas no Laboratório do Grupo de Polímeros do Instituto de Física de São Carlos IFSC/USP no dia 06 de agosto de 2007.

### **5.2.2 Preparo das amostras**

Para a realização das avaliações as soluções aquosas contendo os respectivos adjuvantes foram preparadas nas mesmas concentrações daquelas já usadas durante a avaliação do tamanho de gotas. O volume das gotas formadas foi de 3 $\mu\text{L}$  para todos os tratamentos, inclusive quando foi utilizada apenas água destilada. As gotas foram formadas com o auxílio de uma seringa graduada com capacidade de 10 $\mu\text{L}$ .

Foram escolhidas duas superfícies com características diferentes: uma hidrofóbica, nesse caso, uma lâmina de óxido de alumínio ( $\theta$  água  $> 90^\circ$ ), e outra hidrofílica ( $\theta$  água  $< 90^\circ$ ) que neste experimento foi representada por uma lâmina de vidro. Entre uma avaliação e outra as lâminas foram devidamente lavadas com água e secadas com o auxílio de um jato de nitrogênio para que não ficasse nenhuma partícula que pudesse comprometer as demais avaliações.

### 5.2.3 Sistema de medição do ângulo de contato

O sistema utilizado para as avaliações (Figura 3) é composto por uma câmera fotográfica digital CCD da LG posicionada a frente de uma plataforma onde são colocadas as lâminas a serem avaliadas e que acima, presa com o auxílio de um suporte, fica posicionada a seringa de 10 $\mu$ L que é responsável pela formação da gota. A frente do suporte das lâminas está posicionada uma lâmpada que funciona como um “flash” para que a imagem seja nítida. O comando para captura da imagem é feito por computador através do software Image Pro Express. Após a captura a imagem é salva e analisada por outro programa denominado SurfTens. O sistema foi desenvolvido e adaptado no laboratório do IFSC.



**Figura 3.** Sistema utilizado para avaliação do ângulo de contato de soluções contendo adjuvantes.

### 5.2.4 Análise dos dados

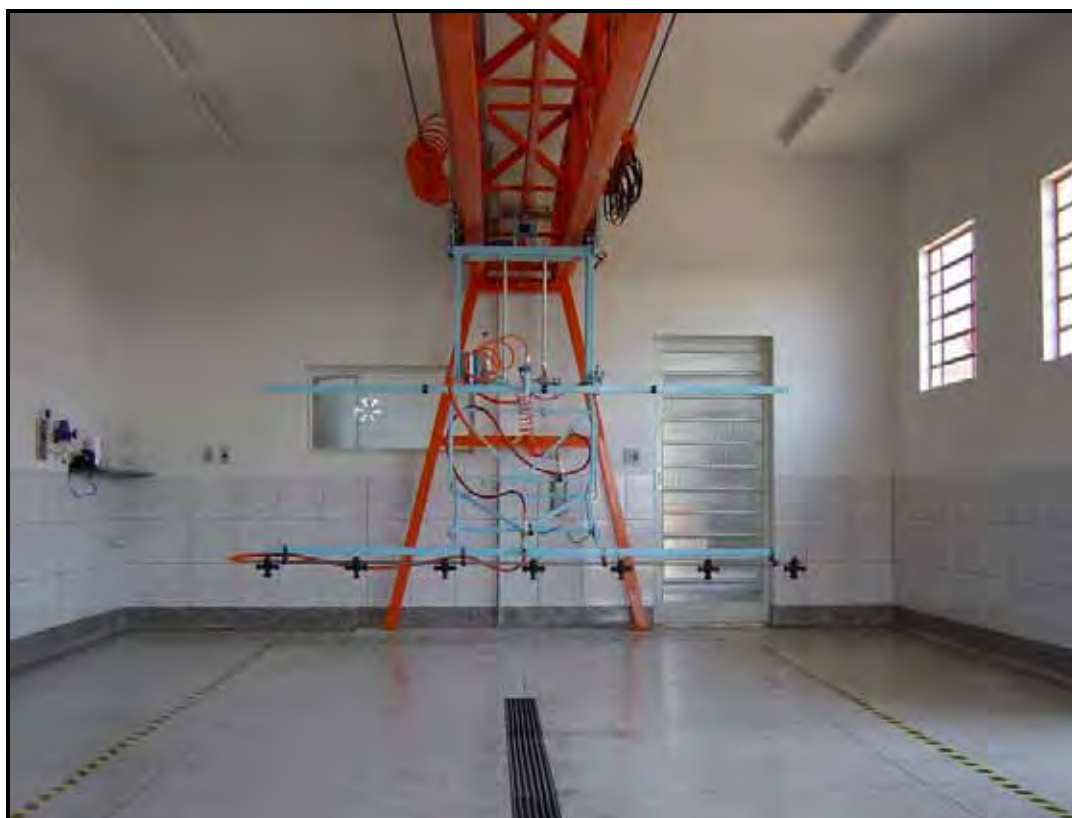
De cada um dos tratamentos foram obtidas quatro gotas, cada uma representou uma repetição. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as

médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2000).

### 5.3 Avaliação da deposição e da deriva

#### 5.3.1 Local do experimento

As avaliações de deposição e deriva foram feitas no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos do Departamento de Produção Vegetal - Defesa Fitossanitária da Faculdade de Ciências Agrônômicas FCA/UNESP, Campus de Botucatu, nos dias 17, 19 e 21 de setembro de 2007. Este laboratório conta com um sistema de pulverização com controle de pressão de trabalho e de velocidade de deslocamento, além de ser um ambiente sem vento (Figura 4).



**Figura 4.** Sistema de pulverização suspenso com controle da velocidade de deslocamento e pressão de trabalho.

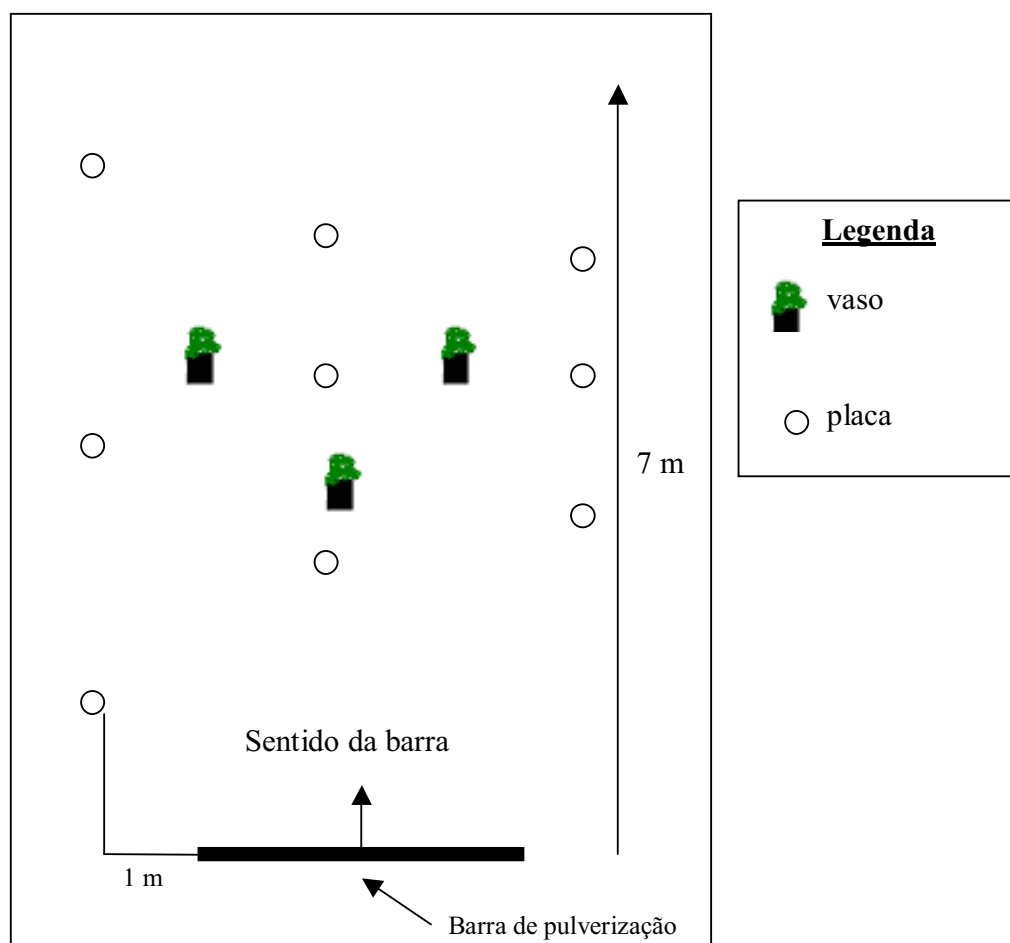
### 5.3.2 Seleção das espécies vegetais e preparo dos vasos

Para estas avaliações foram cultivadas três diferentes espécies de plantas daninhas de importância econômica e com características distintas de arquitetura, pilosidade, textura e sentido das nervuras. As espécies escolhidas foram: *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo), *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada). Todas as espécies de plantas avaliadas foram semeadas no mesmo dia (09/08/2007) e cultivadas em ambiente protegido em vasos com capacidade de 1,5 litros. A composição do substrato em que estas espécies vegetais foram conduzidas foi composto por 3 partes igual de latossolo vermelho escuro, esterco de curral curtido e areia grossa lavada, adicionado a esta mistura 0,95 g de termofosfato BZ; 0,85 g de superfosfato simples e 0,195 g de cloreto de potássio por litro de substrato. As plantas foram irrigadas com o auxílio de aspersores presentes neste ambiente e retiradas apenas momentos antes do início das aplicações. As aplicações foram feitas em plantas com idade de aproximadamente 40 dias.

### 5.3.3 Croqui das aplicações

As pulverizações foram realizadas em três etapas, uma para cada espécie de planta daninha. Para as avaliações foram utilizados três vasos e nove placas de Petri para cada tratamento, os quais foram dispostos de acordo com a Figura 5. Para todas as aplicações tanto as placas quanto os vasos foram posicionados da mesma maneira. Os vasos foram colocados desta maneira e não linearmente para evitar que possíveis respingos provenientes do choque das gotas com as plantas fossem arremessados de um vaso para o outro. Em relação ao posicionamento das placas, mais espaçadas do lado esquerdo do croqui, se deve a presença de portas nos espaços entre as placas.





**Figura 5.** Croqui da área onde foram realizadas as pulverizações.

### 5.3.4 Aplicações dos produtos

Para a realização das pulverizações foram utilizadas as pontas do tipo jato plano, modelo AXI 110 02, com pressão de trabalho de 414 kPa (60 lbf/pol<sup>2</sup>). O equipamento deslocou-se a velocidade de 4,0 km/h, e assim obtendo-se a vazão de 1,071 L min<sup>-1</sup> e volume de 300 L ha<sup>-1</sup>. A escolha deste volume de aplicação foi para garantir uma adequada cobertura das plantas, e através da ponta AXI 110 02 foi possível trabalhar com este volume mantendo a pressão utilizada nas avaliações de tamanho das gotas e utilizar uma velocidade de deslocamento adequada. Estas condições operacionais foram mantidas em todas as pulverizações.

As condições climáticas foram controladas com um termo-higrômetro durante toda a aplicação em todas as etapas. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Condições climáticas durante a realização das pulverizações.

<b>Dia</b>	<b>Etapa</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>UR do ar (%)</b>
17/09/2007	Amendoim-bravo	23,9 a 24,5	63 a 65
19/09/2007	Corda-de-viola	23,7 a 23,8	61 a 62
21/09/2007	Capim-marmelada	25,5 a 25,9	53 a 58

As concentrações dos adjuvantes em solução aquosa foram as mesmas àquelas usadas para a avaliação do tamanho de gotas (Tabela 2). Foram acrescidos ainda a cada uma das soluções 0,15% (p/v) do corante alimentício Azul Brilhante (corante Azul FCF) com o intuito de servir como substância traçadora. A escolha deste traçador foi baseada em estudo realizado por Palladini et al. (2005) que verificou que este traçador não alterou a tensão superficial das caldas.

Após a aplicação e total secamento da calda, foram coletadas as folhas de quatro plantas de cada vaso, totalizando doze plantas por tratamento. As folhas das plantas foram ensacadas individualmente, identificadas e levadas para a extração da substância traçadora com a adição de 100 mL de água destilada em saco plástico. As placas de Petri, após a aplicação e secagem, foram tampadas, identificadas e também levadas para a extração da substância traçadora com a adição de 50 mL de água destilada. A solução de lavagem de cada amostra passou pela leitura do espectrofotômetro UV – VIS (modelo UV 1601 PC, da Shimadzu) a 630 nm para determinar a concentração do traçador em cada um dos tratamentos. Após a obtenção dos depósitos, foram medidas as áreas foliares das espécies vegetais utilizando-se um medidor de área foliar de bancada (modelo LI 3100, da Licor), e assim obtidas a concentração da calda por centímetro quadrado. As áreas das placas de Petri também foram medidas resultando em 56,71 cm<sup>2</sup> cada uma das placas.

### 5.3.5 Análise estatística

Os dados quantitativos dos depósitos do traçador ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ ) nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias dos depósitos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2000).

## 5.4 Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato nas folhas

### 5.4.1 Local do experimento

As avaliações de tensão superficial dinâmica e do ângulo de contato nas superfícies vegetais foram realizadas no Laboratório de Físico-Química de Superfícies do Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras FFCL/USP, Campus de Ribeirão Preto, nos dias 11 e 13 de setembro de 2007.

### 5.4.2 Preparo das amostras

Para as avaliações de tensão superficial foram preparadas soluções contendo os adjuvantes estudados nas concentrações: 5, 10, 20, 40, 50, 100 e 200% das doses recomendadas para cada produto. As concentrações, em volume, utilizadas para cada um dos adjuvantes utilizados estão listadas na Tabela 5. Todas as amostras foram preparadas com água destilada como solvente.

As avaliações do ângulo de contato com as folhas foram feitas apenas com as concentrações de 100 e 200% da dose recomendada diluídas em água destilada. As folhas utilizadas nas avaliações foram retiradas dos vasos cultivados em casa de vegetação para as avaliações de deposição e deriva. Foram utilizadas as espécies *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo), *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada). Para que as folhas ficassem sem rugosidade e não comprometessem as avaliações, as folhas foram presas em lâminas de vidro com o auxílio de fita dupla face.

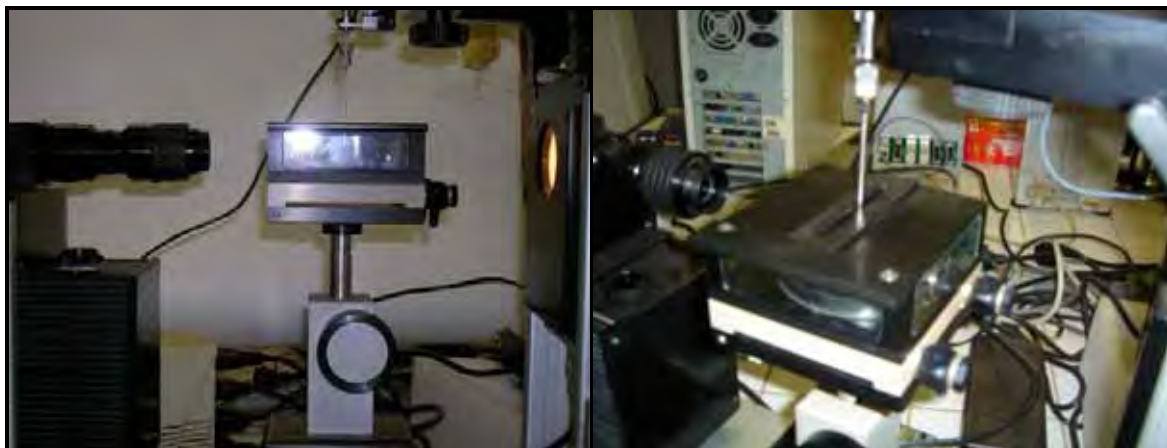
**Tabela 5.** Doses (em volume) dos adjuvantes para obtenção da tensão superficial dinâmica de equilíbrio.

% da dose recomendada	Doses (% v/v)					
	Antideriva	Uno	Pronto 3	Li-700	Supersil	Silwet L-77
5%	0,0025	0,00125	0,005	0,0125	0,005	0,005
10%	0,005	0,0025	0,010	0,025	0,010	0,010
20%	0,010	0,0050	0,020	0,050	0,020	0,020
40%	0,020	0,0100	0,040	0,100	0,040	0,040
50%	0,025	0,0125	0,050	0,125	0,050	0,050
100%	0,050	0,025	0,100	0,250	0,100	0,100
200%	0,100	0,050	0,200	0,500	0,200	0,200

#### 5.4.3 Sistema de avaliação da tensão superficial e do ângulo de contato

O equipamento consiste de tensiômetro automático, modelo OCA-20, da Dataphysics Germany (sistema de medidas dinâmicas) (Figura 6) onde a tensão é determinada pelo método da gota pendente. A imagem da gota de líquido, formada de uma seringa até o termostato óptico, foi capturada usando uma câmera CCD, que através da captura da imagem o equipamento analisa a forma (formato) da gota por assimetria de eixos (ADSA axisymmetric drop shape analysis). Uma cubeta de vidro óptico contendo água no fundo foi utilizada para evitar evaporação da gota. Um software específico que utiliza uma posição ideal como linha de referência no campo de imagem foi utilizado para que se identificasse o ponto chave para o início da gravação das imagens, até mesmo antes da formação completa da gota. A tensão superficial foi determinada através da digitalização e análise do perfil da gota, utilizando para ajuste a equação de Young–Laplace. Foi considerada a tensão superficial de equilíbrio depois de alcançar um valor constante por pelo menos 2 minutos. Para a avaliação do ângulo de contato foi utilizado o mesmo equipamento que também obtém o valor de  $\theta$  através da análise da imagem. São calculados os ângulos dos dois lados da gota formada e automaticamente calculado o  $\theta$  médio. Foi considerado o ângulo de contato de equilíbrio a média do  $\theta$  dos dois

lados da gota depois de alcançar um valor constante por pelo menos 2 minutos. Como padrão de comparação, foi calculado também o ângulo formado pela água destilada.



**Figura 6.** Tensiômetro utilizado para avaliação do ângulo de contato e da tensão superficial.

#### 5.4.4 Análise dos dados

As tensões superficiais e os ângulos de contato obtidos nas superfícies das folhas das espécies de plantas daninhas nas diferentes doses de adjuvantes foram comparados e avaliados graficamente.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Tamanho de gotas

Os resultados das avaliações da porcentagem de volume das gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  para as pontas AXI 110 015, 110 02 e 110 03, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 6, 7, 8.

Na avaliação das médias percentuais do volume de gotas < que 100  $\mu\text{m}$  proporcionados pela ponta AXI 110 015 (Tabela 6) verifica-se que, no geral, os adjuvantes não reduziram significativamente este índice quando comparados a água destilada, com exceção do tratamento contendo o adjuvante Antideriva (0,5 % v/v), que proporcionou a maior média percentual de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro (33,20 %), seguido pelos tratamentos contendo Pronto 3 e Uno com o dobro da concentração desses adjuvantes em água, com valores de 31,31 % e 28,16 %, respectivamente. As menores médias foram obtidas pelos tratamentos: água destilada sem adição de adjuvantes (23,97 %) e pela calda contendo o adjuvante Antideriva a 1,0% v/v (23,05 %). Apenas para o adjuvante Antideriva o aumento da dose recomendada proporcionou redução significativa no volume de gotas com menos de 100  $\mu\text{m}$ . Essa constatação, provavelmente, se deve ao aumento na densidade da solução decorrente da ação de outros componentes presentes na formulação que conseqüentemente proporcionou aumento significativo no DMV das gotas produzidas na ponta AXI 110 015 com dobro da concentração desse adjuvante em soluções aquosas conforme pode-se constatar na Tabela 9.

**Tabela 6.** Médias das porcentagens de volume de gotas menor que 100 µm obtidos por pontas de jato plano AXI 110 015, em soluções aquosas, com duas concentrações de adjuvantes.

Adjuvante	Concentração (% v/v)	
	100	200
Antideriva	33,20 a A	23,05 c B
Uno	27,36 a b c A	28,16 a b A
Pronto 3	29,52 a b c A	31,31 a b A
Li-700	29,48 a b c A	25,83 b c A
Supersil	27,63 a b c A	26,14 b c A
Silwet L-77	25,49 b c A	24,62 b c A
Água	23,97 c	
F (dose)	6,97*	
F (trat.)	4,11*	
CV (%)	15,94	
DMS	6,97	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

As médias da porcentagem do volume de gotas < 100 µm obtido pela ponta AXI 110 02 estão apresentadas na Tabela 7. Semelhante aos resultados obtidos com as pontas AXI 110 015 para a avaliação deste parâmetro, a menor média foi obtida pela solução contendo o dobro da concentração do adjuvante Antideriva (26,74%), com a diferença que para esta ponta a solução com a dose recomendada do produto comercial (100%) foi tão eficiente quanto ao dobro da dose. Comportamento semelhante ao tratamento com o adjuvante Antideriva tiveram as soluções contendo Supersil a 100% (28,58%) e a 200% (29,49%) da dose, e o tratamento com Silwet L-77 com o dobro da dose recomendada (27,35%). A solução contendo apenas água destilada também apresentou os valores médios percentuais estatisticamente semelhantes a esses tratamentos (27,82%). O aumento da dose recomendada foi significativo para os tratamentos com os adjuvantes Li-700 e Silwet L-77, onde a adição do dobro da dose recomendada reduziu significativamente o volume de gotas com diâmetro

menor que 100  $\mu\text{m}$ . O aumento da concentração do adjuvante Silwet L-77 na solução, também refletiu no aumento do DMV das gotas produzidas pela ponta AXI 110 02 (Tabela 10).

**Tabela 7.** Médias das porcentagens de volume de gotas menor que 100 $\mu\text{m}$  obtidos por pontas de jato plano AXI 110 02, em soluções aquosas, com duas concentrações de adjuvantes.

Adjuvante	Concentração (% v/v)	
	100	200
Antideriva	27,20 e A	26,74 e A
Uno	31,59 a b c A	31,41 a b c A
Pronto 3	32,72 a b A	33,05 a b A
Li-700	34,11 a A	32,08 a b c B
Supersil	28,58 d e A	29,49 c d e A
Silwet L-77	30,32 b c d A	27,35 e B
Água	27,82 d e	
F (dose)	4,67*	
F (trat.)	18,46*	
CV (%)	5,77	
DMS	2,78	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Para a ponta AXI 110 03 (Tabela 8), novamente o adjuvante Antideriva com o dobro da dose foi o que apresentou a menor média de volume de gotas menores a 100 $\mu\text{m}$  (24,66 %). As maiores porcentagens foram obtidas pelas soluções contendo os adjuvantes Pronto 3 e Li-700 ambos a 200 % da dose do produto comercial recomendada. O aumento da dose foi significativo apenas para o adjuvante Antideriva, obtendo assim menores porcentagens de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  com o dobro da dose recomendada para este adjuvante.

Os resultados obtidos nas avaliações de diâmetro mediano volumétrico (DMV) para as pontas AXI 110 015, 110 02 e 110 03 são apresentados, respectivamente nas Tabelas 9, 10 e 11.



**Tabela 8.** Médias das porcentagens de volume de gotas menor que 100  $\mu\text{m}$  obtidos por pontas de jato plano AXI 110 03, em soluções aquosas, com duas concentrações de adjuvantes.

Adjuvante	Concentração (% v/v)	
	100	200
Antideriva	28,47 b c A	24,66 d B
Uno	29,36 a b c B	31,62 a b A
Pronto 3	30,97 a b c A	32,11 a A
Li-700	31,29 a b c A	31,85 a A
Supersil	30,58 a b c A	28,86 a b c A
Silwet L-77	30,05 a b c A	28,13 c A
Água	29,34 a b c	
F (dose)	2,12*	
F (trat.)	8,58*	
CV (%)	6,97	
DMS	3,32	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ )

Nas avaliações com a ponta AXI 110 015 (Tabela 9) pode-se constatar que a adição de adjuvantes não apresentou diferenças significativas no DMV das gotas produzidas por essa ponta em relação ao tratamento contendo apenas água destilada. Contudo, o maior DMV observado foi o do tratamento contendo o adjuvante Antideriva com o dobro da dose do produto comercial recomendada e, apenas para este produto é que foi observada interferência do aumento da dose, com o incremento do diâmetro das gotas. Os menores diâmetros foram obtidos pela adição dos adjuvantes: Pronto 3 com 100% da dose e o dobro dela, e Li-700 a 100%.

Para a ponta modelo AXI 110 02 (Tabela 10), os maiores diâmetros foram obtidos pelos tratamentos contendo os adjuvantes Antideriva (100 e 200% da dose) e pelo Silwet L-77 (200% da dose). A solução contendo o adjuvante Li-700, tanto na dose recomendada quanto no dobro promoveram as maiores reduções no DMV. O incremento na dose do adjuvante influenciou significativamente para o acréscimo no DMV, apenas para o adjuvante Silwet L-77.

**Tabela 9.** Médias do diâmetro mediano volumétrico (DMV) obtido por pontas de jato plano AXI 110 015 à pressão de 414 KPa.

Adjuvante	DMV ( $\mu\text{m}$ )	
	Dose	2x Dose
Antideriva	129,33 b B	143,83 a A
Uno	133,00 a b A	132,72 a b A
Pronto 3	129,48 b A	130,57 b A
Li-700	130,65 b A	134,41 a b A
Supersil	134,26 a b A	135,48 a b A
Silwet L-77	136,00 a b A	140,33 a b A
Água	137,04 a b	
F (dose)	7,82*	
F trat.	2,85*	
CV%	5,66	
DMS	12,16	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ )

**Tabela 10.** Médias do diâmetro mediano volumétrico (DMV) obtido por pontas de jato plano AXI 110 02 à pressão de 414 KPa.

Adjuvante	DMV ( $\mu\text{m}$ )	
	Dose	2x Dose
Antideriva	139,88 a b A	142,26 a A
Uno	129,59 d e f A	132,18 c d e f A
Pronto 3	129,12 e f A	131,25 c d e f A
Li-700	126,77 f A	128,18 f A
Supersil	135,40 b c d A	135,74 b c A
Silwet L-77	134,30 b c d e B	139,59 a b A
Água	135,35 b c d	
F (dose)	9,93*	
F trat.	14,42*	
CV (%)	2,86	
DMS	6,10	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ )

Nas avaliações com a ponta AXI 110 03, novamente o adjuvante Antideriva com o dobro da dose, proporcionou as maiores médias do diâmetro mediano volumétrico, sendo significativamente superiores aos DMV obtido nos demais tratamentos, inclusive ao tratamento contendo apenas água destilada. Os demais tratamentos não diferiram significativamente da água, sendo o adjuvante Li-700, com o dobro da dose, o que obteve as menores médias.

**Tabela 11.** Médias do diâmetro mediano volumétrico (DMV) obtido por pontas de jato plano AXI 110 03 à pressão de 414 kPa.

Adjuvante	DMV ( $\mu\text{m}$ )	
	100%	200%
Antideriva	145,23 b B	155,92 a A
Uno	141,38 b c A	136,14 b c A
Pronto 3	138,46 b c A	137,58 b c A
Li-700	136,69 b c A	134,27 c A
Supersil	137,67 b c A	141,13 b c A
Silwet L-77	140,59 b c A	143,94 b c A
Água	136,66 b c	
F (dose)	1,27 ns	
F trat.	6,46*	
CV (%)	4,74	
DMS	10,63	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

ns não significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Comparando os dados obtidos para todas as pontas testadas foi possível observar uma relação inversamente proporcional entre o diâmetro mediano volumétrico e a porcentagem do volume de gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$ . Costa (2006) verificou a mesma relação entre estes dois fatores e ainda relacionou estes fatores à porcentagem de deriva, concluindo que quanto maior o DMV, menores foram as porcentagens de volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  e as porcentagens de depósito de deriva em coletores verticais e horizontais.

O ajuste do tamanho das gotas para o tipo de aplicação é um fator extremamente importante. Segundo Lefebvre (1989), gotas menores que 100 $\mu\text{m}$  são arrastadas

com facilidade pelo vento. Entretanto, a diminuição no tamanho das gotas geralmente melhora o desempenho dos herbicidas, principalmente aqueles que agem por contato, porém isso tende a aumentar a deriva, podendo requerer algumas modificações nos equipamentos de pulverização (KNOCHE, 1994). Por isso é necessário que se conheça as características do ingrediente ativo a ser utilizado (capacidade de absorção e translocação) e buscar conciliar condições que proporcionem a ação máxima do ingrediente ativo com o menor risco de perdas por deriva.

Em todas as pontas testadas, o adjuvante Antideriva, utilizado com o dobro da dose recomendada pelo fabricante (0,10% v/v) apresentou os maiores valores médios de DMV e os menores valores médios da porcentagem do volume de gotas com menos de 100  $\mu\text{m}$ . O adjuvante Silwet L-77, apresentou um incremento no DMV em comparação a água em todas as pontas testadas, porém não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, e também não obteve porcentagem de volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  superiores ao tratamento contendo apenas água em nenhuma das avaliações. Costa (2006) verificou que o adjuvante Silwet L-77 na contração de 0,1 % v/v, quando adicionado a água, aumentou o tamanho de gotas para a maioria das pontas em que foi testado (XR, DG, TT, TX). Butler Ellis e Tuck (1999) e Holloway et al. (2000) observaram que a adição do Silwet L-77 também promoveu aumento no DMV das gotas geradas por pontas de jato cônico, de jato plano com pré-orifício, convencional ou jato plano uniforme. Os adjuvantes Uno, Pronto 3, Li-700 e Supersil obtiveram um comportamento semelhante, com porcentagens de volume de gotas com menos de 100  $\mu\text{m}$  superiores ou semelhantes ao da água, e com DMV inferiores ou estatisticamente iguais. Existe o conhecimento de que os adjuvantes podem ter um efeito significativo sobre o tamanho de gotas em pulverizações agrícolas (BUTLER ELLIS et al., 1997). Os adjuvantes denominados como redutores de deriva têm sido desenvolvidos para modificar o espectro de gotas, mas muitos outros adjuvantes, utilizados para melhorar a dinâmica da gota sobre o alvo, também influenciam o tamanho das gotas (BUTLER ELLIS e TUCK, 1999). Isto foi observado neste estudo com a adição dos adjuvantes Silwet L-77 e Antideriva, que aumentaram o diâmetro das gotas formadas principalmente quando foram utilizados no dobro da dose recomendada. O aumento no DMV de soluções aquosas contendo o surfatante Silwet L-77 provavelmente se deve a redução da tensão superficial, que promove

um desarranjo das moléculas de água que tendem a permanecer unidas na ausência deste surfatante.

**Tabela 12.** Valores de DMV ( $\mu\text{m}$ ) e de porcentagem de gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  observados em avaliações feitas com o laser modelo Mastersizer (Malvern), e os valores fornecidos pelo fabricante das pontas, à pressão de 414 kPa.

TRATAMENTO	AXI 110 015		AXI 110 02		AXI 110 03	
	DMV	%<100 $\mu\text{m}$	DMV	%<100 $\mu\text{m}$	DMV	%<100 $\mu\text{m}$
Fabricante (água)	115,00	38,00	124,00	36,00	143,00	26,00
Água	137,04	23,97	135,35	27,82	136,66	29,34
Antideriva 100%	129,33	33,20	139,88	27,20	145,23	28,47
Antideriva 200%	143,83	23,05	142,26	26,74	155,92	24,66
Uno 100%	133,00	27,36	129,59	31,59	141,38	29,36
Uno 200%	132,72	28,16	132,18	31,41	136,14	31,62
Pronto 3 100%	129,48	29,52	129,12	32,72	138,46	30,97
Pronto 3 200%	130,57	31,31	131,25	33,05	137,58	32,11
Li-700 100%	130,65	29,48	126,77	34,11	136,69	31,29
Li-700 200%	134,41	25,83	128,18	32,08	134,27	31,85
Supersil 100%	134,26	27,63	135,40	28,58	137,67	30,58
Supersil 200%	135,48	26,14	135,74	29,49	141,13	28,86
Silwet L-77 100%	136,00	25,49	134,30	30,32	140,59	30,05
Silwet L-77 200%	140,33	24,62	139,59	27,35	143,94	28,13

Fonte: Máquinas Agrícolas Jacto SA.

A tabela com os valores de DMV e de porcentagem de gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  obtidas com diferentes adjuvantes e doses, e os valores fornecidos pelo fabricante das pontas AXI 110 015, 110 02 e 110 03, em soluções aquosas, mesurados no equipamento a laser modelo Malvern 2600 (Malvern, UK) na mesma pressão em que foram avaliados neste experimento (Tabela 12). As variações observadas entre os

dados fornecidos pelo fabricante e os obtidos neste estudo se devem as diferenças entre os equipamentos usados nas avaliações, uma vez que o laser utilizado pelo fabricante é composto por dois feixes de luz, e o utilizado para este estudo é composto por apenas um feixe (Mastersizer, Malvern, UK).

Os valores de DMV obtidos somente com água no equipamento a laser modelo Mastersizer, Malvern diferem daqueles fornecidos pelo fabricante. Nesse estudo o valor de DMV obtido com a ponta de pulverização AXI 110 015 foi maior em relação aos valores com as pontas de maior vazão na mesma pressão de trabalho (Tabela 12). Novas avaliações foram realizadas com maior controle das condições operacionais do equipamento e novamente o mesmo comportamento foi observado.

## **6.2 Ângulo de contato em superfícies padrão ( $\theta$ )**

As médias dos ângulos de contato com a adição de adjuvantes em solução aquosa estão apresentadas nas Tabelas 13 e 14. Por se tratar de uma superfície hidrofílica ( $\theta$  água  $< 90^\circ$ ), os ângulos formados sobre a lâmina de vidro foram menores do que os obtidos sobre a superfície de óxido de alumínio de características hidrofóbicas ( $\theta$  água  $> 90^\circ$ ) para a maioria dos produtos testados, com exceção apenas para as soluções contendo o adjuvante Silwet L-77 onde foram obtidos valores de  $\theta$  iguais a  $0^\circ$  em todas as concentrações testadas em ambas as superfícies. Sun e Foy (1998) ao estudarem o ângulo formado por soluções contendo adjuvantes organossiliconado em contato com uma lâmina constituída por um filme uniforme constataram que este grupo de adjuvantes produziu gotas com ângulo igual a  $0^\circ$ , enquanto que os demais adjuvantes (não siliconados) apresentaram valores entre  $56,2$  a  $86,5^\circ$ .

Um problema encontrado durante esta avaliação foi registrar o momento exato em que a gota formada cessava a movimentação, ou seja, o instante que a gota permanecia sem modificar o formato, para que a imagem da gota depositada sobre a superfície fosse captada. Por isso foram registradas as imagens de quatro diferentes gotas para que assim fossem analisadas e comparadas as médias. As imagens registradas estão apresentadas nas Figuras 7, 8, 9 e 10.

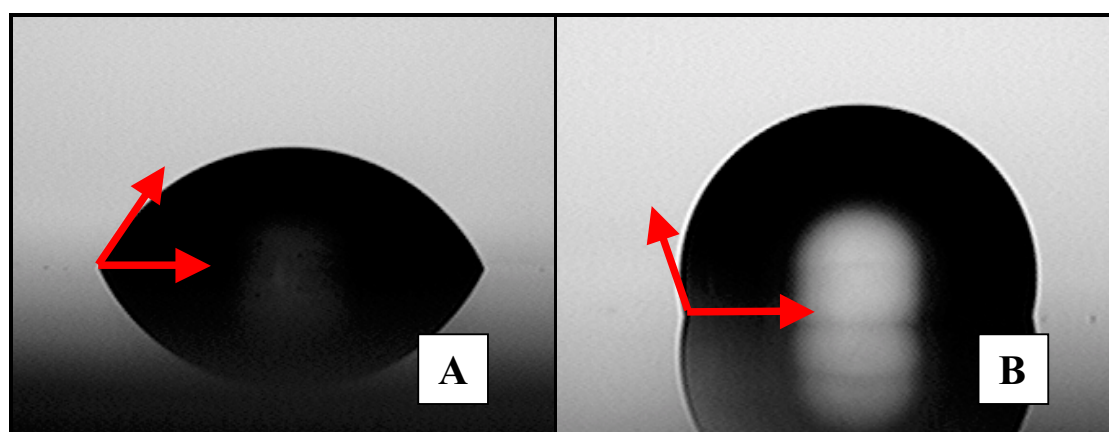
**Tabela 13.** Médias dos ângulos de contato ( $\theta$ ) obtidos por gotas formadas de soluções contendo adjuvantes e pela água sobre superfície de vidro (hidrofílica).

Adjuvante	Valores médios de $\theta$ (°)	
	Dose	2x Dose
Antideriva	15,00 b	19,00 b
Uno	50,25 a	50,25 a
Pronto 3	60,50 a	61,75 a
Li-700	49,25 a	49,25 a
Supersil	0 b	0 b
Silwet L-77	0 b	0 b
Água	57,50 a	
F (dose)	0,13 ns	
F (trat.)	42,89*	
CV (%)	25,08	
DMS	19,85	

ns não significativo no nível de 5% de probabilidade

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferente entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).



**Figura 7.** Ângulo de contato formado por gotas de solução contendo apenas água destilada sobre as superfícies de vidro (A) e de óxido de alumínio (B).

**Tabela 14.** Médias dos ângulos de contato ( $\theta$ ) obtidos por gotas formadas de soluções contendo adjuvantes e pela água sobre superfície de alumínio oxidado (hidrofóbica).

Adjuvante	Valores médios de $\theta$ (°)	
	Dose	2x Dose
Antideriva	44,50 c A	15,25 d B
Uno	66,25 b A	56,25 b c B
Pronto 3	71,25 b A	70,00 b A
Li-700	59,00 b c A	56,50 b c A
Supersil	8,25 d A	2,50 d A
Silwet L-77	0,00 d A	0,00 d A
Água	95,75 a	
F (dose)	20,38*	
F (trat.)	113,11*	
CV(%)	14,62	
DMS	15,29	

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

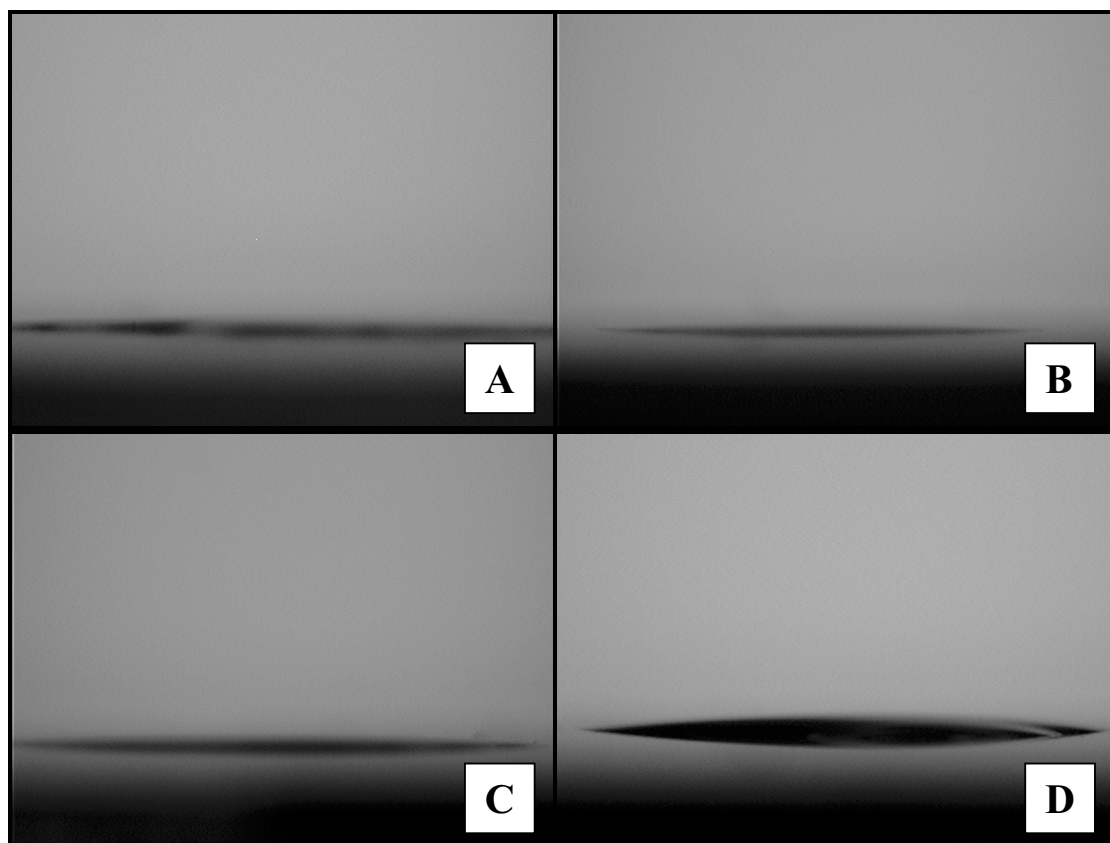
Para a superfície de vidro, a quantidade dos adjuvantes Li-700, Pronto 3 e Uno (dose recomendada e o dobro dela) adicionada à solução aquosa não foi significativa para alterar o ângulo de contato ( $\theta$ ) das gotas. Com exceção dos adjuvantes siliconados (Silwet L-77 e Supersil) que apresentaram ângulo de contato igual a  $0^\circ$ , e para o adjuvante Antideriva, os demais adjuvantes não apresentaram valores de  $\theta$  diferentes dos encontrados para o tratamento contendo apenas água, sendo ainda possível observar que na solução contendo o adjuvante Pronto 3 os valores de  $\theta$  obtidos foram superiores ao da água (Tabela 13).

Na lâmina de óxido de alumínio os ângulos de contato formados apenas pela água foram os que apresentaram os maiores valores quando comparados a demais gotas contendo adjuvantes. Os organossiliconados (Silwet L-77 e Supersil) mais uma vez foram os que apresentaram as menores médias. O aumento da dose não influenciou nos valores de  $\theta$  das soluções contendo os adjuvantes Pronto 3, Li-700, Supersil e Silwet L-77, sendo

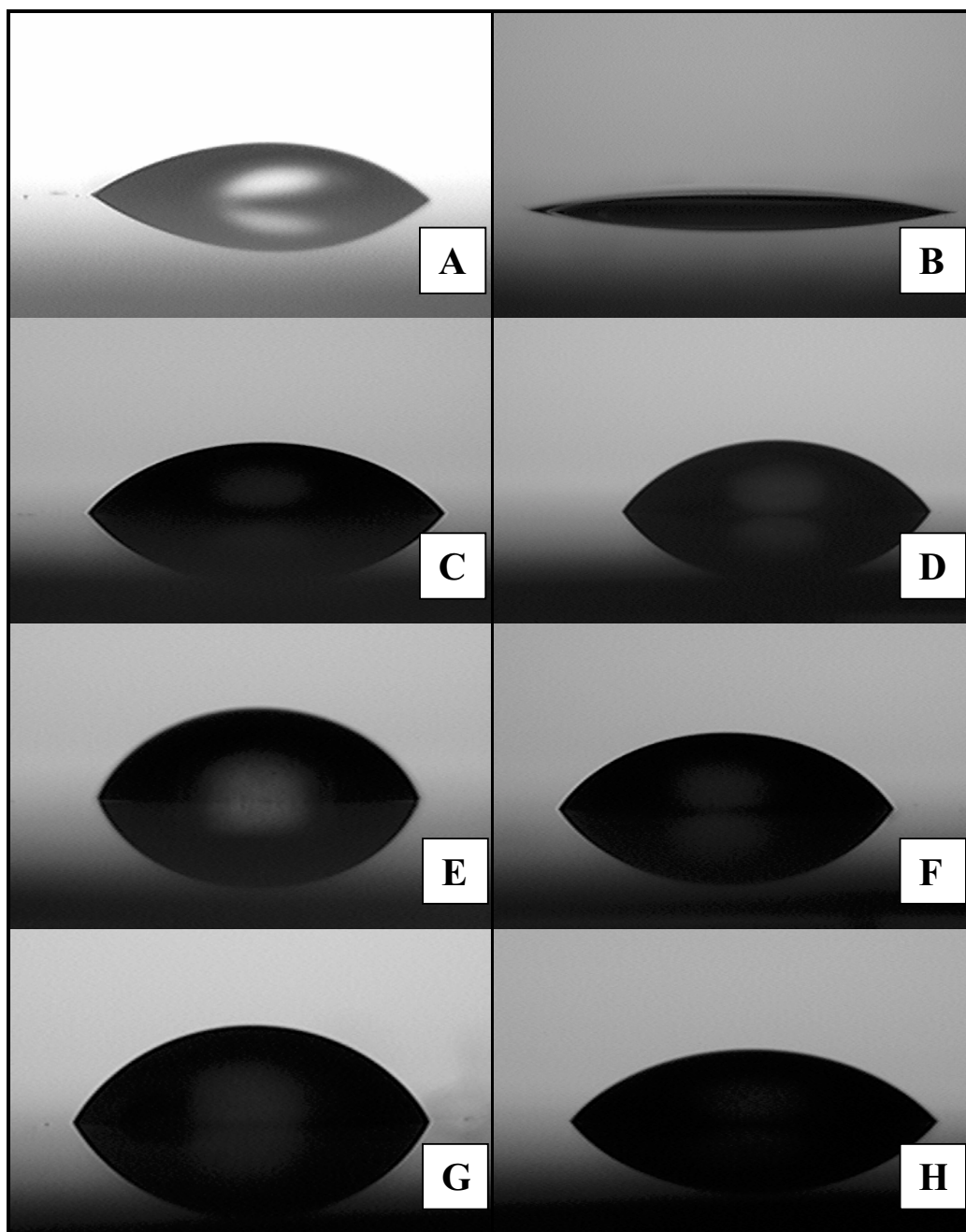


significativo apenas para os adjuvantes Uno e Antideriva que, ao utilizar o dobro da dose recomendada a molhabilidade das gotas sobre a superfície hidrofóbica foi maior (Tabela 14).

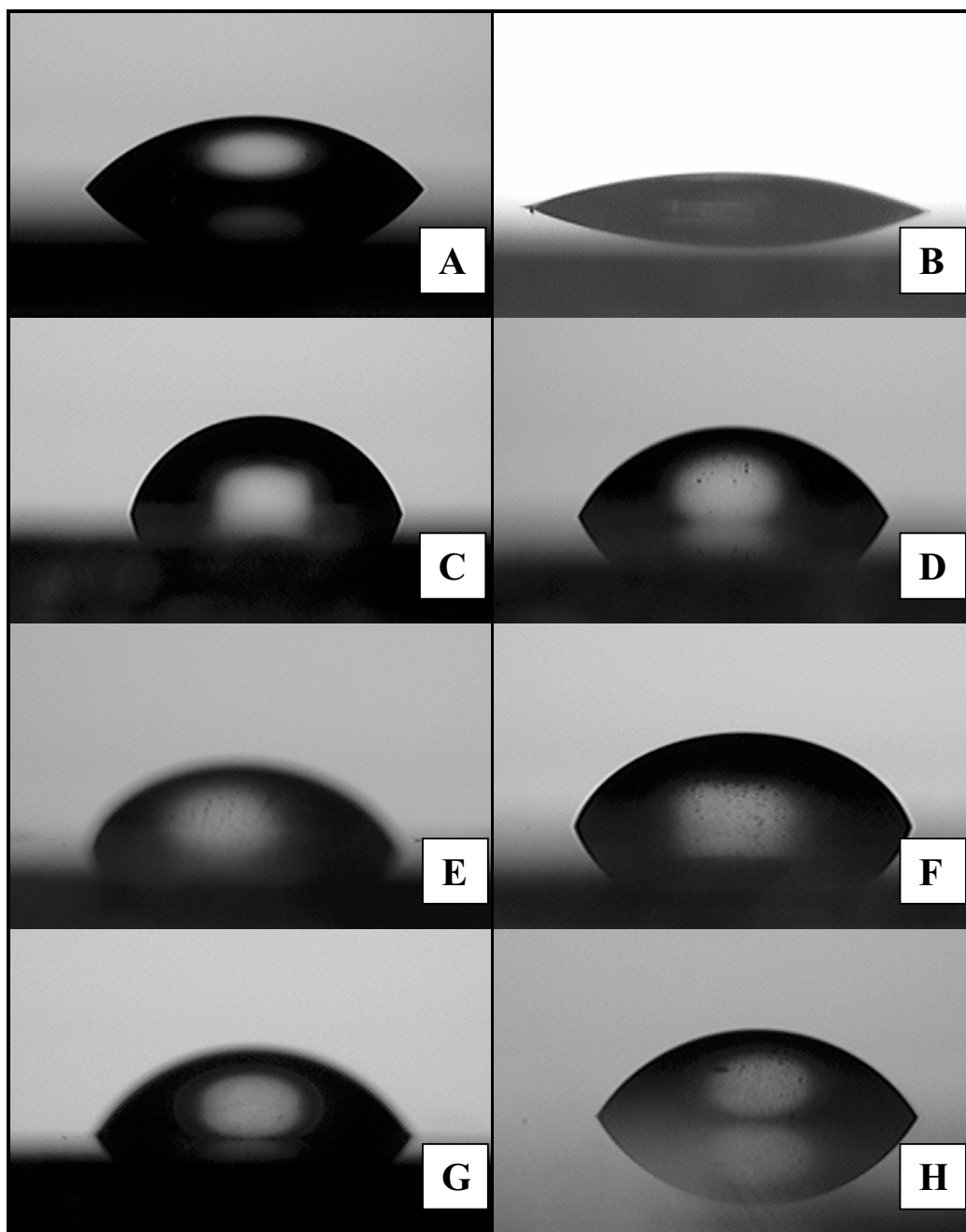
Segundo Kissman (1997) o ângulo de contato formado depende não apenas da solução que está sendo aplicada, mas também das características da superfície, a exemplo de superfícies foliares que podem apresentar tricomas ou textura cerosa. Moita Neto (2006) afirma que o ângulo de contato formado pela água é um método de caracterizar se esta superfície é hidrofílica ou hidrofóbica. Para o autor gotas que formam ângulos maiores que  $90^\circ$  caracterizam-se como superfícies hidrofóbicas.



**Figura 8.** Ângulo de contato formado por gotas sobre lâmina de vidro (A e B) e lâmina de alumínio (C e D) pelos adjuvantes siliconados, Silwet L-77 (A e C) e Supersil (B e D) na dose recomendada.



**Figura 9.** Ângulo de contato formado por gotas sobre lâmina de vidro contendo adjuvantes estudados nas respectivas doses: Antideriva 100% (A), Antideriva 200% (B), Uno 100% (C), Uno 200% (D), Pronto 3 100% (E), Pronto 3 200% (F), Li-700 100% (G), Li-700 200% (H).



**Figura 10.** Ângulo de contato formado por gotas sobre lâmina de óxido de alumínio contendo adjuvantes estudados nas respectivas doses: Antideriva 100% (A), Antideriva 200% (B), Uno 100% (C), Uno 200% (D), Pronto 3 100% (E), Pronto 3 200% (F), Li-700 100% (G), Li-700 200% (H).

### 6.3 Avaliação da deposição e deriva

#### 6.3.1 Avaliação dos depósitos sobre as plantas

Os depósitos das soluções aquosas associadas ou não aos adjuvantes estudados em três espécies de plantas daninhas estão apresentados na Tabela 15. Para as plantas de amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), não foram encontradas diferenças significativas entre os depósitos para os diferentes adjuvantes. O depósito de soluções contendo adjuvantes foram significativamente maiores em plantas de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) e de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*). Para as pulverizações sobre estas plantas daninhas os maiores valores de depósito foram encontrados respectivamente, para Uno e Li-700 com o dobro da dose recomendada. Os menores valores foram obtidos pela adição dos adjuvantes Silwet L-77 Supersil, ambos com a dose recomendada e com o dobro e Li-700 (com a dose recomendada) em plantas de corda-de-viola, e pela adição do adjuvante Supersil (com a dose recomendada) em plantas de capim-marmelada.

Mendonça (2003) verificou uma grande variação nas quantidades de depósitos de soluções contendo herbicidas associados ou não a óleo vegetal ou ao óleo mineral em diferentes superfícies foliares utilizando a ponta de jato plano 110-SF-02, volume de calda de 200 L/ha, em plantas com o 3º ou 4º par de folha expandido. Em plantas de capim-marmelada, os maiores depósitos por cm<sup>2</sup> foram proporcionados pela adição de Natur'l Óleo (0,32 µL/cm<sup>2</sup>) de Select (0,33 µL/cm<sup>2</sup>) e pela combinação de Natur'l Óleo + Select (0,37 µL/cm<sup>2</sup>). Em plantas de corda-de-viola este mesmo estudo verificou que os maiores depósitos foram obtidos com a adição de Natur'l Óleo + Doble (0,43 µL/cm<sup>2</sup>). Assim, para realizar uma correta recomendação, esta deverá ser específica para a espécie vegetal, para o produto fitossanitário e adjuvante a ser utilizado, confirmando com isto que não se pode fazer uma recomendação geral para cada herbicida ou adjuvante. Neste mesmo trabalho ao avaliar os depósitos sobre plantas de amendoim-bravo, a autora não verificou variações significativas dos depósitos entre os tratamentos contendo herbicidas associados ao óleo mineral ou óleo vegetal, ou sem o acréscimo de óleos quando comparado também ao tratamento contendo apenas água. Pode-se observar que neste trabalho as quantidades de depósitos obtidas foram superiores àquelas observadas no presente estudo, mesmo nos tratamentos contendo apenas

água. Esta diferença provavelmente se deve aos diferentes volumes de aplicação utilizados nas duas pesquisas, pois o volume utilizado por Mendonça (2003) foi de 200 L/ha. A utilização de 300 L/ha, provavelmente, promoveu o escoamento da calda, principalmente nas soluções contendo os adjuvantes organossiliconados, os quais apresentaram os menores depósitos nas plantas de corda-de-viola e de capim-marmelada. O fato de estes adjuvantes possuírem uma alta capacidade de redução da tensão superficial possivelmente promoveu a menor deposição destas soluções, devido à alta disposição ao escoamento por soluções com baixa tensão superficial disposição esta observada durante as avaliações.

**Tabela 15.** Depósitos da calda de pulverização em diferentes espécies de plantas daninhas.

Tratamento	Quantidade de depósito ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ )		
	Amendoim-bravo	Corda-de-viola	Capim-marmelada
Antideriva 100%	0,075	0,174 a b	0,181 a b
Antideriva 200%	0,084	0,152 a b	0,172 a b
Uno 100%	0,062	0,151 a b	0,185 a b
Uno 200%	0,069	0,328 a	0,149 a b
Pronto 3 100%	0,082	0,159 a b	0,187 a b
Pronto 3 200%	0,073	0,182 a b	0,181 a b
Li-700 100%	0,094	0,133 b	0,176 a b
Li-700 200%	0,114	0,194 a b	0,193 a
Supersil 100%	0,075	0,083 b	0,130 b
Supersil 200%	0,087	0,100 b	0,148 a b
Silwet L-77 100%	0,100	0,115 b	0,158 a b
Silwet L-77 200%	0,076	0,097 b	0,168 a b
Água	0,085	0,143 a b	0,169 a b
F (trat.)	1,46 ns	2,43*	1,95*
CV (%)	48,46	89,01	26,45
DMS	0,055	0,189	0,061

ns não significativo no nível de 5% de probabilidade

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

### 6.3.2 Avaliação da deriva

#### 6.3.2.1 Aplicação sobre *Euphorbia heterophylla*

Os valores médios dos depósitos coletados em placas de Petri, em três diferentes posições durante as aplicações, junto às plantas de amendoim-bravo estão apresentados na Tabela 16. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, mesmo no tratamento contendo apenas água, para as diferentes posições das placas.

**Tabela 16.** Depósitos da calda de pulverização sobre as placas de Petri posicionadas na área de pulverização de plantas de amendoim-bravo.

Tratamento	Quantidade de depósito ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ )		
	Esquerda	Centro	Direita
Antideriva 100%	0,006	0,349	0,003
Antideriva 200%	0,016	0,336	0,010
Uno 100%	0,002	0,307	0,002
Uno 200%	0,016	0,363	0,006
Pronto 3 100%	0,008	0,422	0,004
Pronto 3 200%	0,010	0,392	0,005
Li-700 100%	0,021	0,401	0,007
Li-700 200%	0,018	0,451	0,001
Supersil 100%	0,009	0,469	0,006
Supersil 200%	0,017	0,418	0,013
Silwet L-77 100%	0,005	0,364	0,004
Silwet L-77 200%	0,024	0,430	0,017
Água	0,003	0,344	0,005
F (trat.)	1,06 ns	1,33 ns	1,54 ns
CV (%)	95,90	18,81	89,45
DMS	0,035	0,216	0,018

ns não significativo ( $P>0,05$ )

No geral, soluções contendo o dobro da dosagem recomendada dos adjuvantes apresentaram maiores níveis de depósitos fora da área tratada (deriva), exceto para o adjuvante Li-700. O adjuvante Uno (dose recomendada) e a água, na lateral esquerda foram os que apresentaram os menores depósitos, na lateral direita o adjuvante Li-700 com o dobro da dose foi o que apresentou o menor depósito, nas placas centrais, o adjuvante Supersil na dose recomendada foi o que obteve maior valor de depósito. O aumento na quantidade de depósito de soluções aquosas contendo os adjuvantes Antideriva e Silwet L-77 com o dobro da dose recomendada, provavelmente está relacionado ao aumento no DMV das gotas de pulverização, pois na ausência de vento essas gotas tinham energia suficiente para depositar nas placas dispostas dos lados esquerdo e direito da barra de pulverização.

#### **6.3.2.2 Aplicação sobre *Ipomoea grandifolia***

Os valores médios dos depósitos coletados em placas de Petri, durante as aplicações sobre as plantas de corda-de-viola são apresentados na Tabela 17. Na lateral esquerda da área onde foram realizadas as pulverizações as maiores quantidades de depósito foram obtidas pelo adjuvante Li-700 (200%). Durante as avaliações de tamanho de gotas com a ponta AXI 110 02 os tratamentos com este adjuvante foram os que obtiveram os menores DMV e apresentaram valores de porcentagem de volume de gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  maiores ou estatisticamente semelhantes aos maiores valores percentuais. Esta constatação está de acordo com o que foi publicado por Butler Ellis e Miller (1997) que afirmam que o principal fator que interfere na deriva é o tamanho das gotas. Costa (2006) verificou em estudo com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes que a deriva está relacionada com a porcentagem de volume de gotas com menos de 100  $\mu\text{m}$  e com o DMV, de maneira que quanto maior o DMV, menor a porcentagem de volume com gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  e menores foram as porcentagens de depósito de deriva. Nesta mesma posição o adjuvante Uno (200%) foi o que proporcionou menores valores de depósito.

**Tabela 17.** Depósitos da calda de pulverização sobre as placas de Petri posicionadas na área de pulverização de plantas de corda-de-viola.

Tratamento	Quantidade de depósito ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ )		
	Esquerda	Centro	Direita
Antideriva 100%	0,0023 a b	0,387 a b	0,0054 a b
Antideriva 200%	0,0038 a b	0,410 a b	0,0062 a b
Uno 100%	0,0014 a b	0,439 a b	0,0026 a b
Uno 200%	0,0009 b	0,443 a b	0,0051 a b
Pronto 3 100%	0,0016 a b	0,381 a b	0,0015 b
Pronto 3 200%	0,0024 a b	0,392 a b	0,0067 a b
Li-700 100%	0,0042 a b	0,404 a b	0,0045 a b
Li-700 200%	0,0045 a	0,425 a b	0,0016 a b
Supersil 100%	0,0019 a b	0,368 a b	0,0025 a b
Supersil 200%	0,0023 a b	0,496 a	0,0042 a b
Silwet L-77 100%	0,0008 b	0,444 a b	0,0052 a b
Silwet L-77 200%	0,0017 a b	0,450 a b	0,0069 a
Água	0,0016 a b	0,315 b	0,0021 a b
F (trat.)	3,13*	2,72*	3,44*
CV (%)	51,19	11,54	42,23
DMS	0,0035	0,141	0,0052

\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra, minúscula, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ )

Em relação aos depósitos no centro das linhas de pulverização, o adjuvante Supersil (200%) foi o que obteve maior depósito. Neste caso a água destilada obteve os menores índices ( $0,315 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ ). Na posição a direita da área de pulverização foram verificados os menores valores de depósito para o tratamento com o adjuvante Pronto 3 (100%), porém neste lado da área de pulverização foram observados valores de depósito superiores aos depósitos observados ao lado esquerdo da área. O maior depósito observado a direita da área foi a da solução contendo o Silwet L-77 no dobro da sua dose recomendada



### 6.3.2.3 Aplicação sobre *Brachiaria plantaginea*

Os valores médios dos depósitos coletados em placas de Petri, nas laterais e no centro da área de pulverização durante as aplicações sobre as plantas de capim-marmelada estão apresentados na Tabela 18. As médias comparadas pelo teste F, diferiram significativamente apenas para os depósitos observados na lateral esquerda e no centro da área de pulverização, não sendo observadas diferenças significativas entre médias dos depósitos na lateral direita da área de pulverização.

Na lateral esquerda da área de pulverização as maiores médias de depósito foram observadas para a solução contendo o adjuvante Silwet L-77 (200%). As menores médias foram obtidas com a calda contendo o adjuvante Pronto 3 (200%).

Entre as médias observadas no centro da área de pulverização o adjuvante Li-700 (100%) apresentou os maiores valores de depósito, e a menor deposição foi proporcionada pelo adjuvante Uno (200%).

A dificuldade em se estudar a deriva em condições controladas está principalmente relacionada a falta de infra-estrutura adequada com possibilidade de variação de velocidade de vento, bem como a falta de padronização de alvos coletores para a estimativa de deriva nos laboratórios de Tecnologia de Aplicação brasileiros. A distância em que os coletores foram posicionados foi proporcional ao tamanho da área avaliada e restrita ao espaço em que a temperatura e umidade relativa do ar foram controladas. Costa (2006), ao realizar estudos para a avaliação da deriva, em túnel de vento, avaliou coletores em diversas distâncias, iniciando a 2 metros até 7 metros, onde quase não foram encontrados depósitos das caldas de pulverização.

**Tabela 18.** Depósitos da calda de pulverização sobre as placas de Petri posicionadas na área de pulverização de plantas de capim-marmelada.

Tratamento	Quantidade de depósito ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ )		
	Esquerda	Centro	Direita
Antideriva 100%	0,0016 a b	0,428 a b	0,0084
Antideriva 200%	0,0012 a b	0,398 a b	0,0087
Uno 100%	0,0013 a b	0,421 a b	0,0074
Uno 200%	0,0012 a b	0,361 b	0,0072
Pronto 3 100%	0,0011 a b	0,406 a b	0,0091
Pronto 3 200%	0,0004 b	0,429 a b	0,0089
Li-700 100%	0,0015 a b	0,502 a	0,0088
Li-700 200%	0,0011 a b	0,483 a b	0,0088
Supersil 100%	0,0010 a b	0,404 a b	0,0050
Supersil 200%	0,0017 a b	0,431 a b	0,0078
Silwet L-77 100%	0,0013 a b	0,375 a b	0,0076
Silwet L-77 200%	0,0023 a	0,400 a b	0,0089
Água	0,0008 a b	0,427 a b	0,0082
F (trat.)	2,19*	2,22*	0,23 ns
CV (%)	41,28	10,60	49,29
DMS	0,0016	0,132	0,0118

ns não significativo no nível de 5% de probabilidade

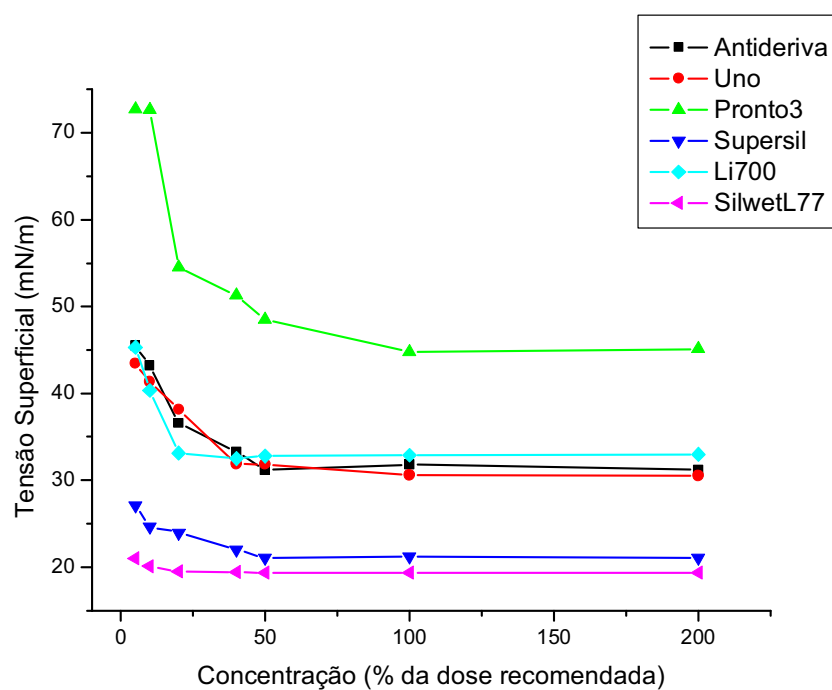
\* significativo no nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por mesma letra minúscula não difere entre si pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ )

## 6.4 Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato nas folhas

### 6.4.1 Tensão superficial dinâmica

Os valores de tensão superficial dinâmica (mN/m) obtidos nas diferentes soluções aquosas em função das concentrações dos adjuvantes estão representados na Tabela 19 e Figura 11.



**Figura 11.** Tensão superficial dinâmica de soluções aquosas em função do aumento da concentração de adjuvantes em relação a dose recomendada

**Tabela 19.** Valores da tensão superficial dinâmica de adjuvantes em diferentes concentrações (% em relação à dose recomendada) em soluções aquosas.

% da concentração	Tensão superficial (mN/m)					
	Antideriva	Uno	Pronto 3	Supersil	Li-700	SilwetL-77
5%	45,47	43,46	72,71	27,11	45,32	21,00
10%	43,23	41,34	72,66	24,68	40,35	20,11
20%	36,59	38,15	54,52	23,97	33,12	19,49
40%	33,26	31,88	51,26	21,99	32,50	19,45
50%	31,17	31,84	48,51	21,07	32,78	19,46
100%	31,81	30,60	44,77	21,23	32,90	19,43
200%	31,21	30,53	45,11	21,09	32,98	19,40

Os adjuvantes que proporcionaram os menores valores de tensão superficial foram os organosiliconados (Silwet L-77 e Supersil), sendo que para o Silwet L-77, mesmo utilizado a 5 % da dose recomendada foi possível observar uma redução significativa da tensão superficial. Os adjuvantes: Li-700, Antideriva e Uno apresentaram um comportamento semelhante na redução da tensão superficial. O adjuvante Pronto 3 foi o que apresentou a menor redução da tensão superficial. Diversos outros estudos também mostraram que os adjuvantes organosiliconados são os que possuem a maior capacidade de redução da tensão superficial da água em relação aos demais grupos de adjuvantes chegando a valores próximos a  $20 \text{ mN m}^{-1}$  (DEXTER e HUDDLESTON, 1998; SUN e FOY, 1998; MONTÓRIO, 2001)

A maioria dos adjuvantes utilizados para reduzir a tensão superficial são constituídos por moléculas que possuem duas extremidades, uma apolar (hidrofóbica) e uma polar (hidrofilica). Ao serem adicionadas à água estas moléculas formam arranjos de maneira que a extremidade polar fique voltada para a água, e a outra extremidade voltada pra atmosfera ou para a interface em que o líquido esta em contato. Este arranjo das moléculas é chamado de micelas. A formação de micelas, contudo, não ocorre em qualquer concentração, apenas a partir de uma concentração mínima, denominada de Concentração Micelar Crítica (CMC). Cada adjuvante possuem uma CMC diferente, sendo possível identificá-la através da medida da tensão superficial. Quando a partir de uma concentração o valor da tensão não tiver mais alterações significativas, considera-se a CMC a partir daquele ponto. No caso do adjuvante Antideriva a CMC foi entre 40 a 50% da dose recomendada. Para os adjuvantes Supersil e Li-700 esta concentração foi entre 20 a 40% da dose recomendada. Já os adjuvantes Uno e Pronto 3 tiveram a CMC compreendida entra 50 a 100% da dose recomendada. O adjuvante Silwet L-77 apresentou CMC entre 5 a 10% da dose recomendada.

#### **6.4.2 Ângulo de contato nas folhas**

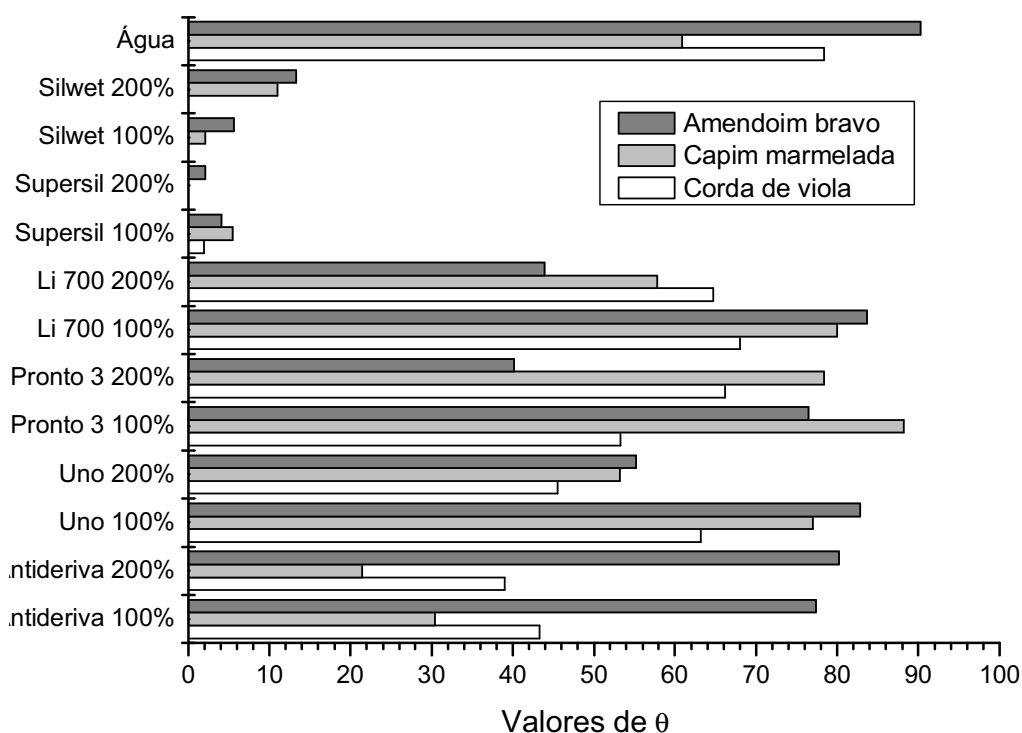
Os ângulos de contato das gotas com as superfícies adaxiais das folhas das espécies de plantas daninhas estudadas estão apresentados na Tabela 20 e na Figura 12.

Em comparação com as características das superfícies, foi possível verificar que as folhas de amendoim-bravo são as mais hidrofóbicas ( $\theta$  da água  $> 90^\circ$ )

em comparação as demais espécies avaliadas. Mendonça (2003) ao avaliar as superfícies de diferentes espécies vegetais observou que as folhas da espécie *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo) possuem numerosos cristais de ceras epicuticulares. Já as células epidérmicas da superfície adaxial de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) apresentam cera epicuticular em forma de estrias paralelas quando localizadas ao redor da célula epidérmica e entrelaçadas como uma rede no centro da célula. Isto significa que não apenas a presença dos cristais de cera, mas também o formato em que eles se apresentam pode ter influência sobre a molhabilidade da folha. Durante a avaliação dos ângulos de contato das soluções com a superfície também foi possível observar presença de tricomas nas folhas de amendoim-bravo.

**Tabela 20.** Valores de ângulo de contato formado por gotas de soluções aquosas contendo adjuvantes em diferentes espécies de plantas daninhas.

TRATAMENTO	Valores de $\theta$		
	Corda-de-viola	Amendoim-bravo	Capim-marmelada
Água	78,4°	90,3°	60,9°
Antideriva (100%)	43,3°	77,4°	30,4°
Antideriva (200%)	39,0°	80,2°	21,4°
Uno (100%)	63,2°	82,8°	77,0°
Uno (200%)	45,5°	55,2°	53,2°
Pronto 3 (100%)	53,3°	76,5°	88,2°
Pronto 3 (200%)	66,2°	40,2°	78,4°
LI-700 (100%)	68,0°	83,7°	80,0°
LI-700 (200%)	64,7°	43,9°	57,8°
Supersil (100%)	1,9°	4,1°	5,5°
Supersil (200%)	0,0°	2,1°	0,0°
Silwet L-77 (100%)	0,0°	5,6°	2,1°
Silwet L-77 (200%)	0,0°	13,3°	11,0°



**Figura 12.** Comparação dos ângulos de contato proporcionados por soluções aquosas contendo adjuvantes ou não observados em diferentes espécies de plantas daninhas

Mais uma vez os adjuvantes do grupo dos organossiliconados (Silwet L-77 e Supersil) foram os que apresentaram os menores ângulos formados pelas gotas. Com relação ao adjuvante Silwet L-77, o fato do ângulo de contato da gota ter sido maior para a concentração de 200% da dose recomendada se deve ao local da folha em que a gota foi depositada. Para as avaliações a 200 % na folha de capim-marmelada a gota foi “barrada” pela nervura central da folha desta planta, o que provavelmente também aconteceu com as soluções contendo os adjuvantes Li-700 e Pronto 3, ambos na dose recomendada, já na folha de amendoim-bravo um dos tricomas presentes nesta folha impediu o espalhamento de um dos lados da gota. Essas leituras não foram descartadas, pois buscou realizar avaliações que se aproximassem ao máximo do que pode ocorrer a campo.

Existe uma forte relação entre a tensão superficial e o ângulo de contato das gotas. Quanto maior a tensão superficial, menor é a molhabilidade da superfície e assim maior será o valor de  $\theta$  obtido. O adjuvante Pronto 3 foi o que apresentou os maiores valores de tensão superficial, e conseqüentemente foi o adjuvante que menos contribuiu para a redução do ângulo de contato com as folhas de uma maneira geral.

## 7 CONCLUSÃO

Nas condições em que foi conduzido este trabalho, pode-se concluir que:

- o grupo químico e dose dos adjuvantes interferem nas propriedades físico-químicas das caldas de pulverização;

- a adição de adjuvantes em soluções aquosas não promoveu redução da deriva;

- o adjuvante Antideriva com o dobro da dose recomendada proporcionou os maiores valores de diâmetro mediano volumétrico (DMV) e as menores porcentagens de volume das gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  em todas as pontas de pulverização;

- o aumento da dose dos adjuvantes Silwet L-77 e Antideriva proporcionou um aumento no DMV das gotas de pulverização, bem como a redução no volume das gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$ ;

- os adjuvantes pertencentes ao grupo dos organosiliconados Supersil e Silwet L-77 promoveram as maiores reduções na tensão superficial dinâmica de soluções aquosas;

- os menores ângulos de contato das gotas com diferentes superfícies foram obtidos pelos adjuvantes organosiliconados Silwet L-77 e Supersil;



- em plantas com características hidrofílicas, como a corda-de-viola e o capim-marmelada ( $\theta < 90^\circ$ ) os adjuvantes Supersil e Silwet L-77 proporcionaram menores níveis de depósitos a 300L/ha.

## 8 REFERÊNCIAS

AMSDEN, R.C. Reducing the evaporation of spray. **Agricultural Aviation**, Washington, v.4, p. 88-93, 1962.

APPLEBY, A.P. When should adjuvants be used? In: ANNUAL WEED CONFERENCE, 33., 1983, Yakima. **Abstracts...** Yakima: Washington State Weed Association: 1983. p. 41-2.

BODE, L.E.; BUTHER, B.J.; GOERING, C.E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type and nozzle pressure. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.19, n.2, p. 213-8, 1976.

BUKOVAC, M.J.; LEON, J.M.; COOPER, J.A.; WHITMOYER, R.E.; REICHARD, D.L.; BRAZEE, R.D. Spray droplet: plant surface interaction and deposit formation as related to surfactants and spray volume. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 40., 1995, Melbourne. **Proceedings...** Rotorua: New Zealand Forest Research Institute, 1995. p.177-85.

BUTLER ELLIS, M.C. **The effect of spray liquid on the application of pesticide spray.** In: RAETANO, C.G.; ANTUNIASSI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação. Botucatu: FEPAF, 2004. p.167-76.

BUTLER ELLIS, M.C.; TUCK, C.R. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. **Crop Protection**, v.18, p.101-9, 1999.

BUTLER ELLIS, M.C.; MILLER, P.C.H.; TUCK, C.R. The effect of some adjuvants on spray produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**, v.16, p.41-60, 1997.

CHAIM, A.; CASTRO, V.L.; CORRALES, F.; GALVÃO, J.A.H.; CABRAL, O.M.R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p. 741-7, 1999.

CHISTOFFOLETI, P.J. Resistência de plantas infestantes aos herbicidas. In: SIMPÓSIO SOBRE HERBICIDAS E PLANTAS INFESTANTES, 1., 1997, Dourados. **Resumos...** Dourados: 1997. p. 75-94.

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

COSTA, E.A.D. **Efeito de surfatantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

COSTA, A.G.F. **Determinação da deriva da mistura de 2,4 D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 94 f. Tese (Doutorado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CUNHA, R.A.P.J. da; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, 2004.

DEXTER, A.G. **Herbicide spray drift**. Disponível em:

<<http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/weeds/a657w.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2007.

DEXTER, R.W.; HUDDLESTON, E.W. Effects of adjuvants and dynamic surface tension on spray properties under simulated aerial conditions. In: NALEWAJA, J.D.; GROSS, G.R.; TANN, R.S. (Eds.) **Pesticide formulations and application systems**. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1998, v.18, p.95-105.

DURIGAN, J.C. **Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 42p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-8.

GREEN, J.M. Factors that influence adjuvant performance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 60., 2001, Amsterdam. **Proceedings...** Amsterdam: ISAA, 2001. p.179-90.

GREEN, J.M.; HAZEN, J.L. Understanding and using adjuvants properties to enhance pesticide activity. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMISTS, 5., 1998, Tennessee. **Proceedings...** Memphis: ISAA, 1998. p.25-36.

HOLLOWAY, P.J. et al. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. **Crop Protection**, v.19, p.29-37, 2000.

KISSMANN, K.G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu, MG. **Palestras...** Caxambu, MG: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997.p. 61-77.

KNOCHÉ, M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage applied herbicides. **Crop Protection**, v.13, n. 3, p. 163- 178, 1994.

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

MATUO, T.; NAKAMURA, S.H.; ALMEIDA, A. Efeito de alguns adjuvantes da pulverização nas propriedades físicas do líquido. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v.15, n.2, p.163-73, 1989.

MENDONÇA, C.G. **Efeito de óleos minerais e vegetais nas propriedades físico-químicas das caldas de pulverização e suas interações com superfícies foliares**. 2003. 96 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

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

MILLER, P.C.H.; BUTLER ELLIS, M.C.; TUCK, C.R. The influence of adjuvants on droplet production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 40., 1995, Melbourne. **Proceedings...** Rotorua: New Zealand Forest Research Institute, 1995. p.95-102.

MOITA NETO, J.M. **Molhamento e ângulo de contato**, março de 2006. Teresina: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Piauí. Disponível em: <<http://www.fapepi.pi.gov.br/ciencia/documentos/Molhamento.PDF>>. Acesso em: 20 out. 2007.

MONTÓRIO, G.A. **Eficiência dos surfatantes de uso agrícola na redução da tensão superficial**. 2001. 72 f. Tese (Doutorado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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

PALLADINI, L.A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

RAMOS, H.H. Perdas ligadas à má aplicação de agrotóxicos. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: EFICIÊNCIA, ECONOMIA E PRESERVAÇÃO DA SAÚDE HUMANA E DO AMBIENTE. Jundiaí, 2001. Disponível em: <<http://www.iac.br/cea/Sintag/AHamilton.PDF>>. Acesso em: 16 set. 2004.

RAMOS, H.H.; MATUO, T.; BERNARDI, J.A. Características da pulverização produzida por bicos Yamaho da série 'D'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: 2001, 1 CD Rom.

SALYANI, M. Droplet size effect on spray deposition efficiency. In: INTERNATIONAL WINTER MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1987, Chicago. **Article...** Chicago: American Society of Agricultural Engineers, 1987. p. 1-9.

STEVENS, P. J. G.; BAKERS, E. A.; ANDERSON, N. H. Factors affecting the foliar absorption and redistribution of pesticides. 2. Physicochemical properties of the active ingredient and the role of surfactant. **Pesticide Science**, Essex, v.24, p. 31-53, 1988.

STICKLER, W.E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, C.L. (Ed.). **Adjuvants for Agrochemicals**. New York: Marcell Dekker, 1992. cap.22, p.247-9.

STOUGAARD, R.M. Adjuvant combination with quizalofop for wild oat (*Avena fatua*) control in peppermint (*Mentha piperita*). **Weed Technology**, Champaign, v.11, p.263-7, 1997.

SUN, J.; FOY, C.L. Physico-chemical properties of several commercial organosilicones their blends, and selected other adjuvants. In: NALEWAJA, J.D.; GROSS, G.R.; TANN, R.S. (Eds.) **Pesticide formulations and application systems**. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1998, v.18, p.281-93.

SUN, J.; FOY, C.L. Structurally related organosilicone surfactants, their physical-chemical properties and effects on uptake and efficacy of primisulfuron in velvetleaf (*Abutilon theophrasti* medicus). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 40., 1995, Melbourne. **Proceedings...** Rotorua: New Zealand Forest Research Institute, 1995. p.225-30.

VELLOSO, J. A. R. O.; SOUZA, R. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas com pulverizadores de Barra**. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA E SEGURANÇA NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS, 1996, Santa Maria. **Palestras...** Santa Maria: UFSM-CCR, 1996. p. 31-48.