



EVAPORAÇÃO DE GOTAS DE CALDAS CONTENDO FUNGICIDA E ADJUVANTES DEPOSITADAS EM SUPERFÍCIE

Caroline Michels Vilela¹ e Ulisses Rocha Antuniassi²

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a evaporação de gotas depositadas em superfície, em diferentes condições de umidade relativa, além de características referentes à deposição da gota e a tensão superficial das caldas. Os tratamentos foram compostos por um fungicida isolado e misturado com óleo mineral (Nimbus), óleo vegetal (Óleo Vegetal Nortox) e um organossilicone (Silwet L-77 AG). As avaliações foram realizadas com auxílio de um sistema de captura de imagens, em uma sala fechada, para facilitar o controle das condições de temperatura, mantida entre 23 e 24°C. Foram realizadas 12 observações entre as UR de 40 a 80% e três repetições para UR de $45 \pm 1\%$, comparadas por Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias, a 5% de probabilidade (IC95%) e as correlações entre as variáveis pelo Coeficiente de Pearson, a 5% de probabilidade. A evaporação de gotas foi afetada pela umidade relativa do ar e pelo uso de adjuvantes, sendo o óleo mineral o adjuvante que proporcionou a calda menos sensível às variações de umidade. A área média molhada correlacionou-se de forma negativa com o tempo de evaporação de gotas e com a tensão superficial. O organossilicone foi o adjuvante que promoveu maior mudança na evaporação e deposição das gotas em superfície, em relação às caldas avaliadas.

KEYWORDS: tecnologia de aplicação, deriva, diâmetro mediano volumétrico (DMV).

DROPLET EVAPORATION OF SPRAY SOLUTIONS WITH FUNGICIDES AND ADJUVANTS ON A SURFACE

ABSTRACT: This research evaluated the droplet evaporation on a surface under different relative humidity conditions, and analyzed the characteristics related to droplet deposition and the surface tension of spray solutions. The treatments were composed by a fungicide isolated and mixed with adjuvants. The droplet evaporation evaluation was done with a system to capture images in a ambient controlled room to facility control of temperature, which was kept between 23 and 24°C. There were performed 12 observations between 40 and 80% of relative humidity. Three repetitions at 45% relative humidity were compared using Confidence Interval at 95% probability and the correlations between variable were analyzed using Pearson at 5% probability. The droplet evaporation was affected by relative humidity and by adjuvants use, and the mineral oil was the adjuvant less sensible to humidity variations. The wetted medium area was negatively correlated to evaporation. The deposition characteristics were not affected by changes in relative humidity, only by adjuvants. The organossilicone was the adjuvant that promoted the biggest change in evaporation and deposition of the droplet on a surface, compared to the other treatments.

KEYWORDS: application technology, wetted area, relative humidity.

¹ Eng^o. Agrônoma, Aluna do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – Departamento de Engenharia Rural FCA/UNESP, Botucatu/SP. E-mail: vilela.invernadinha@gmail.com

² Eng^o. Agrônomo, Orientador e Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Caixa Postal 237, CEP 18610-307, ulisses@fca.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

A eficiência das aplicações de agrotóxicos é frequentemente relacionada com a evaporação e o espalhamento das gotas aplicadas (XU et al., 2010). Estas devem ser grandes o suficiente para atingir o alvo desejado, mesmo sofrendo alguma evaporação no deslocamento da ponta até a superfície do alvo, mas pequena suficiente para promover a cobertura necessária no alvo (REICHARD et al., 1977). Perdas de massa pela evaporação tornam as gotas mais susceptíveis ao arraste por correntes de ar ou a evaporação total antes de atingir o alvo (CORRÊA, 1985). Após o depósito das gotas sobre o alvo, irão ocorrer os processos de espalhamento e evaporação (BUKOVAC et al., 1995, apud ZHU et al., 2008). Yu et al. (2009a) relatam que o tamanho de gotas, umidade relativa do ar, estrutura da folha e a formulação do agrotóxico são os fatores que mais influenciam a evaporação de gotas na superfície das folhas. O período entre o depósito e a total evaporação da gota no alvo - tempo de evaporação - influencia a absorção e consequentemente a translocação e ação do ingrediente ativo na planta (XU et al., 2011).

De acordo com Ramsey et al. (2006) a umidade do ar tem grande efeito na aplicação de agrotóxicos foliares, principalmente sobre a cutícula da planta e também sobre a evaporação e deposição das gotas. Além das condições ambientais, o uso de adjuvantes também pode influenciar a evaporação de gotas depositadas. Estudos conduzidos por Zhu et al. (2008) relatam que ocorreu redução do tempo de evaporação quando um surfatante foi adicionado à calda de um inseticida, ao contrário da adição de um redutor de deriva, que aumentou o tempo de evaporação. Os autores ainda avaliaram a evaporação em diferentes condições de umidade relativa. A redução da umidade relativa de 90 para 60% e de 60 para 30% ocasionou redução média de 34% do tempo de evaporação.

Ramsey et al. (2006) em estudos sobre a influência da umidade relativa do ar sobre o controle de *Avena fatua* por glufosinato, relataram que a eficácia da aplicação foi melhor para o tratamento que foi condicionado a alta umidade relativa do ar (99%) após a aplicação, quando comparado ao tratamento que foi submetido a baixa umidade relativa do ar (40%). A adição de umectantes glicérol, dietileno glicol ou trietileno glicol a calda de glufosinato, a umidade de 40% após a aplicação, proporcionou controle semelhante ao tratamento sem umectante na condição de umidade relativa do ar de 99%.

Gimenes et al. (2011) avaliaram o tempo de evaporação e área molhada de um óleo vegetal concentrado, óleo de semente modificado, um surfatante não iônico e uma mistura de óleo e surfatante, além da água, em diferentes partes de plantas de soja. A área molhada pelas soluções dos adjuvantes foi significativamente superior à água, os adjuvantes não apresentaram resultados diferentes nas áreas que as gotas foram depositadas na planta de soja, a

não ser na parte adaxial das folhas, onde os óleos apresentaram maior espalhamento que o surfatante e a mistura de óleo e surfatante. O tempo de evaporação foi reduzido quando os adjuvantes foram adicionados em relação à água.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a evaporação de gotas depositadas em superfície de caldas de um fungicida com adjuvantes, em diferentes condições de umidade relativa e também as características referentes à deposição da gota, como área molhada pela gota, tensão superficial e ângulo de contato entre a gota e a superfície.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Máquinas de Pulverização do NEMPA, Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Botucatu, São Paulo. O experimento consistiu em determinar a deposição e evaporação das gotas em superfície. Para avaliar a deposição, foi determinada a área média molhada pelas gotas, o ângulo de contato entre a gota e a superfície. A avaliação da evaporação consistiu em determinar o tempo de evaporação de gotas em superfície. Além destes fatores foi determinada a tensão superficial das caldas avaliadas.

Os tratamentos foram compostos por caldas de um fungicida (Azoxistrobina 200 g L⁻¹ + ciproconazol 80 g L⁻¹, a 0,4 L p. c. ha⁻¹) isolado e em mistura com adjuvantes. Os adjuvantes utilizados foram um óleo mineral (Nimbus), um óleo vegetal (Óleo Vegetal Nortox) e um organossilicone (Silwet L-77 AG). A composição dos tratamentos está descrita na Tabela 1. A taxa de aplicação utilizada foi equivalente a 100 L ha⁻¹ e as doses dos adjuvantes, de acordo com a recomendação dos fabricantes.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Abreviatura	Composição do adjuvante	Dose do adjuvante (% v v ⁻¹)
Fungicida	F	-	-
Fungicida + Óleo Mineral	FOM	Óleo Mineral 428g L ⁻¹	0,5
Fungicida + Óleo Vegetal	FOV	Óleo Vegetal 930 mL L ⁻¹	2,0
Fungicida + Organossilicone	FOS	Copolímero de Poliéster e Silicone 1000 g L ⁻¹	0,1

As avaliações foram realizadas em uma sala de dimensões de 2 x 3 x 4 m, para facilitar o controle das condições de temperatura e umidade relativa do ar, além de evitar correntes de ar. As condições ambientais foram alteradas manualmente com o auxílio de um aquecedor,

um condicionador de ar, um umidificador e um desumidificador de ar e foram monitoradas por um termohigrômetro, com registro de dados de temperatura e umidade relativa a cada 10 segundos. Foram realizadas avaliações entre a umidade relativa (UR) de 40 a 80% e desenvolvidos modelos de regressão para a análise do comportamento das caldas. Repetições foram realizadas para UR de $45 \pm 1\%$. Este valor foi utilizado pela facilidade de ser mantido constante durante as avaliações, além da proximidade do limite descrito em literatura para realização de aplicações de agrotóxicos. A temperatura foi mantida durante as avaliações entre 23 e 24°C.

Foi desenvolvido um sistema de captura de imagens para avaliar a deposição e evaporação de gotas. Este sistema foi composto de duas câmeras, sendo uma posicionada lateralmente e outra perpendicularmente à lâmina de vidro onde as gotas foram depositadas, uma estrutura de madeira, suportes para as câmeras e para a lâmina de vidro, conforme a Figura 1.

As câmeras utilizadas neste sistema foram do fabricante Dino-Lite Digital Microscope, sendo a lateral modelo AM 413ZT e a perpendicular modelo AM 313T. As câmeras tinham capacidade de aumento de até 200 vezes, resolução de 640x480 pixels, além de interface USB. O software fornecido pelo fabricante, DinoCapture 2.0, permitiu obter imagens em tempo real de ambas as câmeras. Além da captura de imagens, o software tem ferramentas que possibilitam mensurar as dimensões da gota depositada, em função do aumento utilizado.

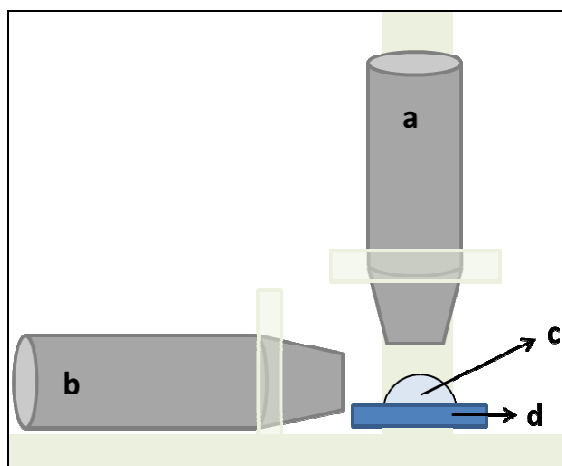


Figura 1: Esquema do sistema de captura de imagens utilizado no experimento: câmera perpendicular (a); câmera lateral (b); gota depositada (c); lâmina de vidro (d).

As gotas foram geradas por uma micro seringa, de volume de 0,5 μL , modelo 7000.50C, do fabricante Hamilton, que corresponde a uma gota de 985 μm de diâmetro. Lâminas de vidro foram utilizadas como superfície no experimento. As lâminas foram previamente limpas, primeiramente, com algodão embebido por álcool, depois por água e foram secadas com papel toalha, sendo trocada a cada coleta de dados.

O tempo de evaporação (T_{evap}) das gotas em superfície foi determinado, em segundos, através da observação pela câmera perpendicular. O tempo foi determinado como o intervalo entre a deposição da gota e sua extinção.

A análise da deposição consistiu em determinar a área média (AMéd) da gota em contato com a superfície (Área molhada) e calculado o ângulo de contato entre a gota e a superfície. A área média foi calculada através da média das áreas dimensionadas das imagens (Figura 2), sendo capturada uma imagem a cada 15 segundos, desde o momento em que a gota foi depositada, até o final da evaporação.

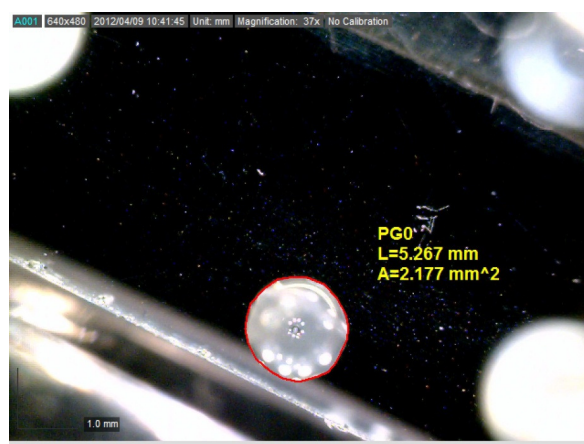


Figura 2: Imagem gerada pela câmera posicionada perpendicularmente e detalhe das medições realizadas.

O ângulo de contato (AC) inicial entre a gota e a superfície foi determinado conforme metodologia proposta por Xu et al. (2010) (Equação 1), assumindo que a gota depositada tem o formato de uma calota esférica.

$$\theta = 90^\circ - \arctg\left(\frac{S}{4h} - \frac{h}{S}\right) \quad (1)$$

Onde:

θ = ângulo de contato entre a gota e a superfície ($^\circ$);

S = base da calota (μm);

h = altura da calota (μm).

A dimensão “h” foi obtida pela primeira imagem capturada pela câmera lateral. O aumento utilizado foi de 39 a 41 vezes. A Figura 3 ilustra a imagem capturada pela câmera lateral, bem como o detalhe da medida realizada.

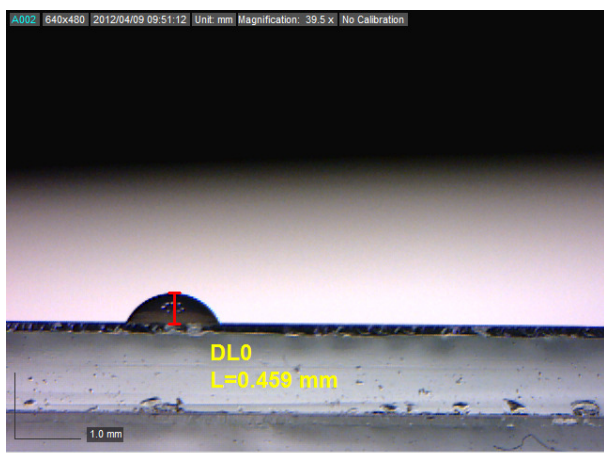


Figura 3: Exemplo de imagem gerada pela câmera posicionada lateralmente a gota e detalhes das medições.

A medida “S” poderia ser calculada da mesma forma que a medida “h”. No entanto, as gotas depositadas nem sempre apresentaram uma forma esférica perfeita, como ilustrado na Figura 4. Dependendo de como a gota foi depositada, a visualização pela câmera lateral poderia captar uma medida inferior ou superior ao diâmetro da gota depositada na superfície.



Figura 4: Exemplo de uma gota que não tem formato circular depositada na lâmina de vidro.

Para evitar o sub ou super dimensionamento, a medida “S” foi calculada a partir da imagem gerada pela câmera superior das gotas depositadas (Câmera perpendicular). A medida “S” corresponde ao diâmetro da circunferência da gota depositada. Pela medida da área dessa circunferência (Figura 2), foi possível calcular o diâmetro de uma circunferência perfeita e assim determinar o ângulo de contato.

A tensão superficial foi determinada de acordo com metodologia proposta por Costa (1997) e Correa e Velini (2002). As análises relacionadas à evaporação e a deposição das gotas foram realizadas através da coleta de dados de 12 observações entre as UR de 40 a 80%, para desenvolver modelos de regressão, através do programa STATISTICA (STAT SOFT, 2007), sendo o modelo linear (Equação 2) o que se mostrou mais adequado para a análise dos dados.

$$y = a + bx \quad (2)$$

Onde:

y = tempo de evaporação (s);

a = coeficiente angular da reta;

b = coeficiente linear da reta;

x = umidade relativa do ar (%).

As médias dos tratamentos realizados para a UR de 45 ± 1% foram comparadas pelo Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias, a 5% de probabilidade (IC95%), assim como as médias dos resultados da tensão superficial. Foram calculadas correlações entre as variáveis pelo Coeficiente de Pearson, a 5% de probabilidade, através do mesmo programa utilizado para desenvolver as análises de regressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes da equação e de determinação (R²) do tempo de evaporação das gotas estão apresentadas na Tabela 2. A partir da regressão foi estimado o tempo de evaporação (em segundos) para os tratamentos em função da umidade relativa do ar (UR), apresentados na Figura 5.

Tabela 2: Coeficientes de determinação (R²) do tempo de evaporação dos tratamentos.

Tratamento	Coeficiente a	Coeficiente b	R ²
Fungicida (F)	-246,521	11,424	0,95
Fungicida + Óleo Mineral (FOM)	6,153	6,884	0,85
Priori Xtra + Óleo Vegetal (FOV)	-326,168	14,274	0,93
Fungicida + Organossilicone (FOS)	-245,092	9,559	0,88

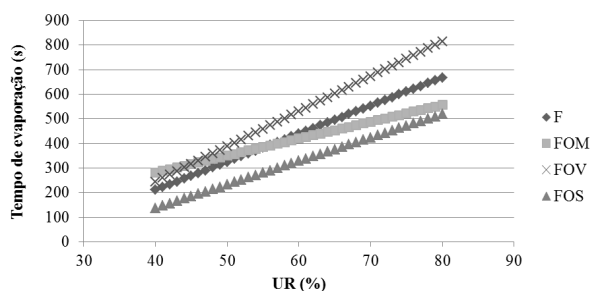


Figura 5: Tempo de evaporação estimado em função da umidade relativa.

Ocorreu o aumento do tempo de evaporação com o aumento da umidade relativa, assim como resultados encontrados por Yu et al. (2009b), em todos tratamentos. Os tratamentos F, FOS e FOV apresentaram comportamento semelhante em relação à variação da UR. O tempo de evaporação do tratamento FOM variou com menor intensidade à variação da UR, em relação aos demais tratamentos. Yuet al. (2009b) encontraram 20% de redução do tempo de evaporação pela adição de surfatante à calda de um inseticida, quando comparado à calda do inseticida sem adjuvante, próxima aos 25% encontrados neste trabalho, para a UR de 60%.

De acordo com Kissmann (1998), os óleos reduzem a evaporação da água tanto no trajeto até o alvo como também depois de depositadas, pois as gotículas de água emulsionadas com óleo se evaporam mais lentamente. O tratamento FOM se comportou de forma diferente que os demais, ora com tempo de evaporação superior, ora inferior ao tratamento F. Minguela e Cunha (2010) relatam que a propriedade anti-evaporante é esperada para óleos minerais e vegetais. Apesar de ambos os tratamentos FOV e FOM serem compostos por óleo (Vegetal e mineral, respectivamente), não é esperado que tivessem comportamento semelhante. O óleo vegetal foi utilizado na dose de $2\% \text{ v v}^{-1}$, e contém $93\% \text{ v v}^{-1}$ de óleo em sua composição, enquanto foram utilizados $0,5\% \text{ v v}^{-1}$ do óleo mineral, que contém apenas $42,8 \text{ v v}^{-1}$ de óleo em sua composição.

A comparação dos tratamentos para o tempo de evaporação (s) para UR de $45 \pm 1\%$ está ilustrada na Figura 6.

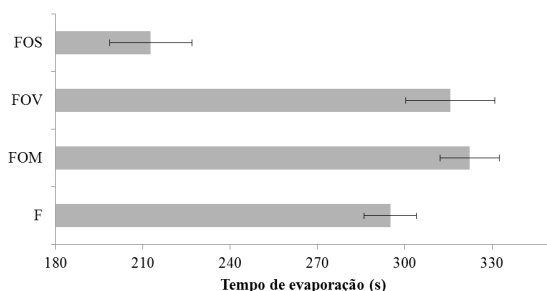


Figura 6: Tempo de evaporação (Médias \pm IC5%) dos tratamentos para $45 \pm 1\%$ UR.

Assim como estimado pelo modelo, para UR de $45 \pm 1\%$, o tratamento FOS apresentou menor tempo de evaporação que os demais tratamentos. Xu et al. (2009) relataram que soluções aquosas com surfatantes resultaram em tempo de evaporação 20% menor quando comparado à apenas água. O tratamento F teve menor valor que o tratamento FOM, mas foram iguais ao tratamento FOV.

Na Figura 7 estão apresentados o aumento ou a redução percentual da evaporação em relação à UR de 60%. Nos dados apresentados o tratamento FOM é menos sensível a alterações na UR do que os outros tratamentos, que possuem redução/aumento do tempo de evaporação relativo semelhante.

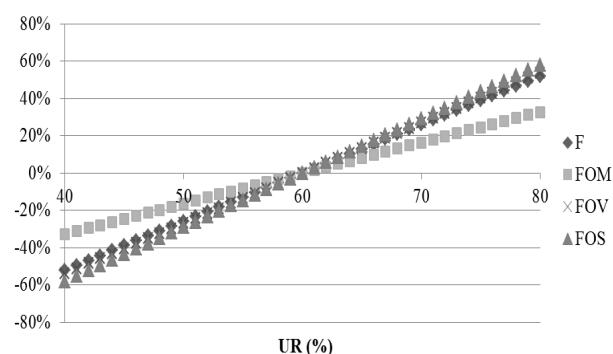


Figura 7: Relação percentual do tempo de evaporação em relação à UR de 60%.

A área média não respondeu às alterações da UR, concordando com Zhu et al. (2008), que relataram a mesma situação. Dessa forma estão apresentados somente os dados de área média molhada para a UR de $45 \pm 1\%$ (Figura 8).

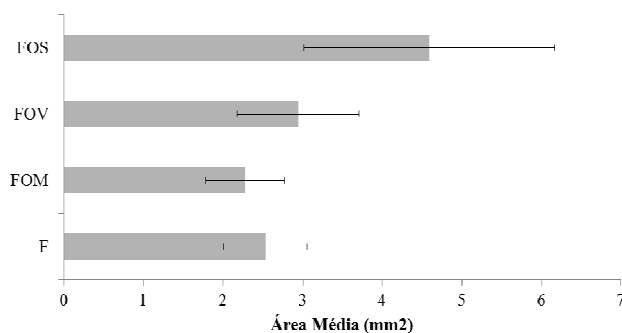


Figura 8: Área média molhada (médias \pm IC5%) das gotas dos tratamentos

A área média do fungicida isolado foi igual ao tratamento FOM e FOV e diferiu do tratamento FOS. Gimenes et al. (2011) e Xu et al. (2010) encontraram aumento da área média molhada pela adição de adjuvantes em relação à calda contendo somente água. Iost (2008) avaliou a área de molhamento de um óleo

vegetal e um óleo mineral, isolados e em mistura com herbicidas. Os resultados demonstraram que o espalhamento depende não só dos adjuvantes utilizados, mas também do agrotóxico e superfície onde a gota foi depositada. A área molhada por soluções com óleo vegetal foi inferior às áreas molhadas de tratamentos que continham surfatantes em trabalho conduzido por Xu et al. (2011).

Assim como a área média molhada, o ângulo de contato (AC) inicial não respondeu às variações de UR. Dessa forma, só serão apresentados os resultados para a UR de $45 \pm 1\%$ (Figura 9).

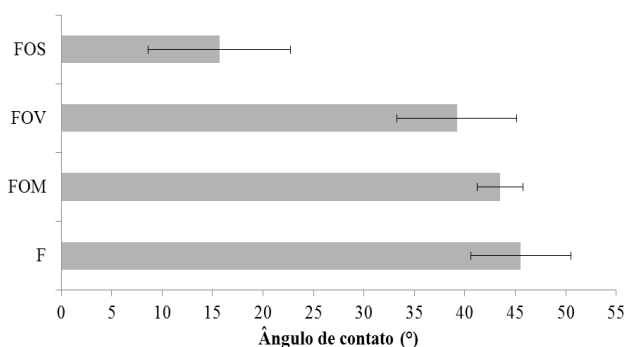


Figura 9: Ângulo de contato inicial (médias \pm IC5%) entre a gota e a superfície.

Os tratamentos F, FOM e FOV foram iguais, apresentando AC superiores ao tratamento FOS. De acordo com Hazen (2000), adjuvantes com propriedades espalhantes, como os surfatantes, tem a capacidade de ter menor ângulo de contato entre a gota e a superfície. Iost (2008) avaliou o ângulo de contato de soluções aquosas com adjuvantes. No entanto, o ângulo de contato foi mensurado no momento em que foi cessado o movimento de espalhamento da gota. As diferenças entre as metodologias impede a comparação entre os resultados. Apesar disso, o menor ângulo foi encontrado para o adjuvante Silwet. Xu et al. (2010) relataram a redução do ângulo de contato pela adição de surfatante e óleo vegetal em relação ao ângulo de contato de gotas de água, sendo que o surfatante proporcionou maior redução. O comportamento foi semelhante ao encontrado para as medidas de área, já que o diâmetro da área é um dos componentes para o cálculo de AC.

O método proposto para calcular o índice de cobertura (IC) consistia em multiplicar a área média pelo tempo de evaporação para cada observação. Como não houve significância entre a área média e a UR, foi utilizada média das observações da área média molhada para cada tratamento. Os coeficientes da regressão do índice de cobertura estão apresentados na Tabela 4. Os valores do IC calculados a partir da equação de regressão estão ilustrados na Figura 10. O IC para a UR de $45 \pm 1\%$ está ilustrado na Figura 11.

Tabela 3: Coeficientes de regressão (R^2) do índice de cobertura dos tratamentos.

Tratamento	Coefficiente a	Coefficiente b	R^2
Fungicida	-651,337	30,184	0,95
Fungicida + Óleo Mineral	16,112	18,025	0,85
Fungicida + Óleo Vegetal	-873,631	38,233	0,93
Fungicida + Organosilicone	-1093,172	42,637	0,89

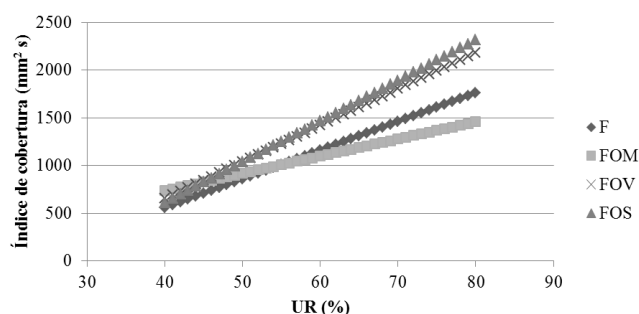


Figura 10: Índice de cobertura calculado em função da umidade relativa.

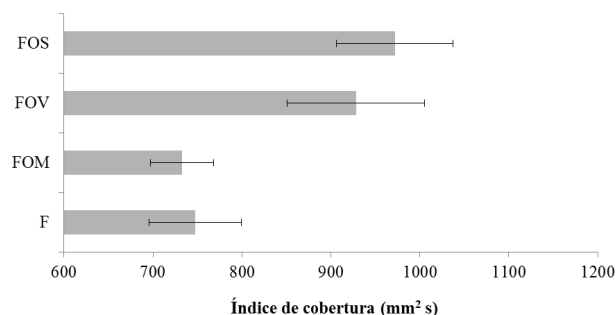


Figura 11: Índice de cobertura (médias \pm IC5%).

O índice de cobertura não apresentou o mesmo comportamento observado para o tempo e taxa de evaporação. As observações ao longo do aumento da UR mostram que os tratamentos FOV e FOS tiveram resultados muito próximos, superiores ao tratamento F. Isto ocorreu pelo fato de que o tratamento com óleo vegetal proporciona maior tempo até a evaporação da gota, e o tratamento com o organosilicone, grande espalhamento e consequentemente, grande área coberta pela gota. Xu et al. (2009) verificaram que um tratamento com surfatante promoveu maior área molhada e menor tempo de evaporação em relação ao tratamento sem surfatante. O

tratamento FOM foi superior aos tratamentos FOS e FOV até 45% de UR, e até 55% de UR para o tratamento F. Para as repetições a $45 \pm 1\%$ UR, o tratamento F foi inferior aos demais, seguido pelo tratamento FOM, que foi igual ao tratamento FOV, que por sua vez foi igual ao tratamento FOS.

Os resultados das médias da tensão superficial (TS) das caldas analisadas estão apresentados na Figura 12.

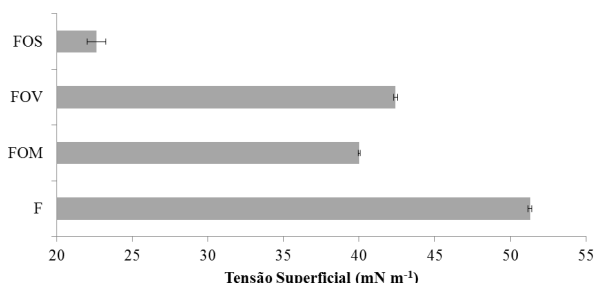


Figura 12: Tensão superficial (médias \pm IC5%) das caldas analisadas.

A adição de adjuvantes à calda do fungicida reduziu a tensão superficial das caldas, concordando Xu et al. (2011) em que a TS foi reduzida por adjuvantes em relação à comparação somente com água, e com Yu et al. (2009b), em relação à caldas de inseticidas sem adjuvantes. A calda FOS proporcionou o menor valor de tensão superficial ($22,71 \text{ mN m}^{-1}$), seguido pelo tratamento FOM ($40,02 \text{ mN m}^{-1}$) e FOV ($42,53 \text{ mN m}^{-1}$) e F ($51,19 \text{ mN m}^{-1}$). Oliveira (2011) encontrou valores próximos a 20 e 30 mN m^{-1} para os adjuvantes Silwet e Nimbus, respectivamente, em soluções aquosas, nas mesmas concentrações utilizadas neste trabalho. Iost e Raetano (2010) também analisaram tensão superficial de soluções aquosas com adjuvantes e encontraram a tensão de $19,43 \text{ mN m}^{-1}$ para o adjuvante Silwet a $0,1\% \text{ v v}^{-1}$. Montório (2001) concluiu que o surfatante Silwet é muito eficiente na redução da TS, comparado à outros surfatantes. Mendonça (2003) avaliou a tensão superficial de diversos óleos vegetais e minerais, em soluções aquosas e encontrou o valor de $41,87 \text{ mN m}^{-1}$ para a solução de Óleo Vegetal Nortox, na concentração de $2\% \text{ v v}^{-1}$, concluindo que os óleos não são tão eficazes em reduzir a tensão superficial em baixas concentrações como outros adjuvantes que não contém óleo em sua formulação.

Foram calculadas as correlações, pelo Coeficiente de Pearson, a 5% de probabilidade, entre a UR e o tempo de evaporação para as observações entre 40 e 80% de UR de todos os tratamentos. A correlação foi significativa e positiva, com o valor de 0,80. Não foram correlacionados a taxa de evaporação e o índice de cobertura com a UR e o tempo de evaporação porque essas variáveis foram calculadas a partir de relações com o tempo de evaporação. Também não foram correlacionadas as outras variáveis, pois não responderam a alterações da UR.

Os fatores tempo de evaporação, área média molhada, ângulo de contato e tensão superficial foram correlacionados apenas com os dados coletados na UR de $45 \pm 1\%$. Os valores das correlações estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Correlações entre as variáveis.

	T Evap	Área Méd	AC
Área Méd	-0,92	-	-
AC	0,89	-0,97	-
TS	0,78	-0,84	0,90

Todas as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). O tempo de evaporação correlacionou-se de forma negativa com a área média, assim como resultados encontrados por Gimenes et al. (2011), e positivamente com o ângulo de contato e com a tensão superficial.

A área média foi correlacionada e negativamente com o ângulo de contato e a tensão superficial. O ângulo de contato correlacionou-se positivamente com a tensão superficial. As correlações encontradas estão de acordo com Chachalset al. (2001) que observaram menor área molhada pelas gotas relacionadas com menor ângulo de contato e com Mendonça et al. (1999) e Mendonça (2000), que concluíram que a redução da tensão superficial resulta em maior molhamento da superfície e com Iost (2008), que encontrou correlação positiva entre o ângulo de contato e a tensão superficial.

4 CONCLUSÃO

A evaporação de gotas foi afetada pela umidade relativa do ar, correlacionando-se positivamente com esta, e pelo uso de adjuvantes, sendo o óleo mineral o adjuvante que proporcionou a calda menos sensível às variações de umidade.

A área média molhada correlacionou-se de forma negativa com o tempo de evaporação de gotas. As características relacionadas à deposição da gota não foram afetadas pelas variações da umidade relativa do ar, mas somente pelo uso de adjuvantes.

O organossilicone foi o adjuvante que promoveu maior mudança na evaporação e deposição das gotas em superfície, em relação às caldas avaliadas. A regressão do índice de cobertura demonstrou a tendência de adjuvantes distintos (Organossilicone e óleo vegetal) apresentarem índices semelhantes, um por elevada área molhada e outro por elevado tempo de evaporação.

5 REFERÊNCIAS

- CHACHALIS, D. et al. Herbicide efficacy, leaf structure, and spray droplet contact angle among Ipomea species and smallflower morning glory. **Weed Science**, Champaign, n. 49, p.628-634, 2001.
- CORRÊA, H. G. Redução da evaporação de gotículas contendo herbicida, com emprego de oxietilenodocosanol. **Bragantia**, Campinas, v. 44, p. 159-171, 1985.
- CORREA, T. M.; VELINI, E. D.. Desenvolvimento de equipamento para medição da tensão superficial estática de soluções. . In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 23, 2002, Gramado. Resumos do XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DA CIENCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 2002. v. 1. p. 686-686.
- COSTA, E. A. D. **Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial de soluções de Rodeo**. Botucatu, 1997. 72 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- GIMENES, M. JR. et al. Adjuvant effects and droplets evaporation time and wetted area on soybean plants. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS**, 5., 2011, Cuiabá. 1 CD-ROM.
- HAZEN, J. L. Adjuvants: Terminology, Classification, and Chemistry. **Weed Technology**, Champaign, v. 14, p. 773-784, Out./Dec. 2000.
- IOST, C. A. R.. **Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- IOST, C. A. R.; RAETANO, C.G.. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p.670-680, jul-ago, 2010.
- KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. B. **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária, Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 39-51.
- MENDONÇA, C.G **Algumas características da superfície foliar de diversas plantas daninhas monocotiledôneas**. Botucatu, 2000. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Área de Concentração
- Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- 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. et al. Efeitos de surfatantes sobre a tensão superficial e a área de molhamento de soluções de glyphosate sobre folhas de tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa, 17, n. 3, p. 355-365, 1999.
- MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588 p.
- 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.
- OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Energia Na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 82, p. 162-175, 2005.
- RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. Effect of humectants on the uptake and efficacy of glufosinate in wild oat (Avenafatua) plants and isolated cuticles under dry conditions. **Weed Science**, Champaign, v. 54, p. 205-211, Mar-Apr 2006.
- REICHARD, D. L. et al. Spray droplet size distributions delivered by air blast orchard sprayers. **Transactions of the ASAE**, 20, n. N 2, 1977.232-237.
- STAT SOFT Inc. **Statistica for Windows 8.0**. Tulsa: Stat Soft, Inc, 2007. 1 CD-ROM.
- XU, L. et al. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of the ASABE**, 53 (1), p. 13-20, 2010.
- XU, L. et al. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 7, n. 67, p.842-851, 2011.
- XU, L. et al. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant

at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, London, p. 58-67, 2009.

YU, Y. et al. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, London, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009a.

YU, Y. et al. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, 52 (1), 2009b.39-49.

ZHU, H. et al. Influence of spray additives on droplet evaporation and residual patterns on wax and wax-free surfaces. **ASABE Paper No. 083752**, St. Joseph, June 2008.