

CINÉTICA DA TENSÃO SUPERFICIAL E DO ÂNGULO DE CONTATO DE GOTAS A PARTIR DE CALDAS COM ADJUVANTES SOBRE FOLHAS DE LARANJA

Olinto Lasmar¹ & Marcelo da Costa Ferreira²

¹Engenheiro Agrônomo, Doutorando do Programa de Entomologia Agrícola, Dep. Fitossanidade, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil - lasmar84@yahoo.com.br; ²Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto, Dep. Fitossanidade, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil - mdacosta@fcav.unesp.br.

Resumo: Objetivou-se avaliar a cinética da tensão superficial e do ângulo de contato de gotas formadas a partir de caldas aquosas com diferentes grupos químicos de adjuvantes comerciais (Agral, Agridex, Veget Oil, LI 700, TA 35 e MSO) e água sobre superfícies artificial (vidro) e natural (folhas de laranja). O experimento foi realizado no laboratório do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento de Tecnologia de Aplicação - NEDTA do Departamento de Fitossanidade da UNESP de Jaboticabal, no mês de fevereiro de 2012. Fragmentos de folhas de citros com 1 cm² foram cortados, fixados em lâmina de vidro e levados para um tensiômetro automático, modelo OCA-20, da Dataphysics Germany onde através da análise de imagem e utilização de software obteve-se a cinética da tensão superficial e do ângulo de contato formado entre as caldas e as superfícies avaliadas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, além de uma análise gráfica. Todas as caldas com os adjuvantes avaliados espalharam-se sobre a superfície da folha de laranja, ou seja, os ângulos de contato foram inferiores a 90°. Os adjuvantes LI 700, Agral, TA 35 e MSO reduziram a tensão superficial da água diminuindo o ângulo de contato entre a calda e as superfícies. Isto promoveu um melhor molhamento da folha de laranja em relação à água e aos óleos vegetal e mineral, o que na prática contribui para uma melhor cobertura e eficiência da pulverização.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação, surfatantes, medição dinâmica, superfície foliar.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a área ocupada com laranja no estado de São Paulo é de 569.641 ha e a área em produção está estimada em 525.514 ha. Quando se compara com a safra anterior, o comportamento é de diminuição de área, passando de 608.600 ha para os atuais 569.641 ha, com variação de menos 6,4%. A causa da diminuição é a erradicação dos pomares improdutivos (CONAB, 2012). Entretanto, devido à ampla extensão de áreas contínuas ocupadas com a cultura, houve o aparecimento de uma série de problemas fitossanitários que demandaram ações de controle, dentre os quais predomina o método químico, normalmente fazendo-se o uso de pulverizações.

Em uma pulverização, a calda formada pelo produto comercial adicionado à água, sofre uma fragmentação e normalmente, faz com que as partículas formadas (gotas) sejam suscetíveis à deriva e à evaporação (BARRÊTO, 2011).

No Brasil, existe espaço para estudos relacionados à tecnologia de aplicação, e o desenvolvimento/aprimoramento de tecnologias podem contribuir ao sistema atual que enfrenta graves problemas devido às aplicações em larga escala, com volumes altos de calda e sob condições meteorológicas adversas de temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, uma evolução neste setor pode proporcionar uma agricultura mais competitiva e menos impactante ao ambiente.

Em pulverizações a campo, é comum que algumas áreas nas plantas não recebam a cobertura adequada de calda. Com isto, os organismos alvos, a exemplo dos insetos, podem selecionar estas áreas para caminhar e alimentar-se, tendo pouco ou nenhum contato com os produtos fitossanitários, os quais perdem a sua atividade biológica com o passar do tempo (KONNO et. al., 2001; FERREIRA, 2003).

Nesse contexto, para se conseguir uma cobertura melhor, os produtores têm feito uso de alguns produtos, tais como os adjuvantes.

Os adjuvantes são substâncias ou compostos sem propriedade fitossanitária, que são adicionados numa preparação agrícola (exceto a água), para aumentar a eficiência ou modificar determinadas propriedades físico-químicas da solução, visando facilitar a aplicação ou minimizar possíveis problemas (KISSMANN, 1997).

Dentre os efeitos dos adjuvantes, destaca-se a redução da tensão superficial das gotas pulverizadas, causando o seu achatamento, o que aumenta a sua superfície de contato com o alvo biológico e melhora a cobertura deste. A tensão superficial refere-se às forças que existem na interface de líquidos não miscíveis, impedindo que eles se misturem (AZEVEDO, 2001). Quando uma gota de água está sobre uma superfície, o ângulo de contato depende das características dessa superfície. Se for hidrorrepelente, o contato será menor e a gota ficará mais esférica. Se a superfície for mais hidrófila, a gota se espalha, podendo até formar um filme uniforme (KISSMANN, 1997).

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° trata-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° é o outro caso extremo, onde o líquido não apresenta qualquer interação com a superfície. Quando o ângulo de contato é menor que 90° podemos considerar que a superfície é molhada pelo líquido (MOITA NETO, 2006; IOST, 2008).

A utilização de diferentes grupos químicos de adjuvantes nas caldas de pulverização pode favorecer a quebra da tensão superficial da água e aumentar a afinidade entre a calda de aplicação e a superfície foliar das plantas de laranja.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar a cinética da tensão superficial e do ângulo de contato de gotas formadas através de caldas contendo diferentes grupos químicos de adjuvantes em folhas de laranja.

MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações da cinética da tensão superficial e do ângulo de contato de gotas nas superfícies artificial (vidro) e natural (folhas de laranja) foram realizadas em laboratório do Núcleo de Estudos e Desenvolvimento de Tecnologia de Aplicação - NEDTA do Departamento de Fitossanidade do Câmpus de Jaboticabal - SP, UNESP, no mês de fevereiro de 2012.

As folhas utilizadas nas avaliações foram coletadas em plantas presentes no próprio câmpus. Em seguida foram cortadas em pedaços de 1 cm^2 e para que ficassem sem rugosidade e não comprometessem as avaliações, as folhas foram presas em lâmina de vidro através de fita dupla-face.

Para as avaliações foram preparadas caldas com água comum da rede de abastecimento, contendo os adjuvantes estudados (Tabela 1). Água ultra-pura e água comum foram utilizadas como testemunhas.

Tabela 1. Características dos produtos: marca comercial, ingrediente ativo, grupo químico e dosagem, Jaboticabal, SP, 2012.

Ingrediente ativo	Marca comercial	Grupo químico	Dosagem mL p.c. 100 L ⁻¹
1. Fosfatidilcoline e Ácido propiônico	LI 700	fosfatidilcoline e ácido propiônico	500
2. Noni Poli (Etilenoxi) Etanol	Agral	alquil fenóis etoxilado	30
3. Lauril Éter Sulfato de Sódio	TA 35	lauril éter sulfato de sódio	50
4. Óleo vegetal	Veget Oil	ésteres de ácidos graxos	500
5. Óleo mineral	Agridex	hidrocarbonetos alifáticos	200
6. Éster metílico + álcool etoxilado	MSO	éster metílico de origem vegetal	200
7. Água ultra-pura	---	---	---
8. Água comum*	---	---	---

* Mesma água utilizada para fazer as caldas fitossanitárias.

As medições foram realizadas a cada segundo num tempo total de cinco minutos, através de um tensiômetro automático, modelo OCA-20, da Dataphysics Germany onde a tensão superficial é determinada pelo método da gota pendente. A imagem da gota é capturada por uma câmera e o equipamento analisa o formato da gota pendente na extremidade de uma agulha acoplada à seringa de emissão do líquido a ser analisado por assimetria de eixos (ADSA axisymmetric drop shape analysis). Um software específico que utiliza uma posição ideal como linha de referência no campo de imagem é utilizado para que se identifique o ponto chave para o início da gravação das imagens. A tensão superficial é determinada através da digitalização e análise do perfil da gota, utilizando para ajuste a equação de Young-Laplace.

Para evitar a evaporação das gotas, foi utilizada uma cubeta de vidro contendo água no fundo, posicionada abaixo da gota pendente durante todo o período de coleta dos dados.

Para a avaliação da cinética do ângulo de contato de gotas, utilizaram-se o mesmo equipamento (OCA-20), que também obtém estes valores através da análise de imagem. As medições também ocorreram a cada segundo num tempo total de cinco minutos após a deposição de cada gota em duas superfícies (artificial e natural).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, além de uma análise gráfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de tensão superficial (IFT mN m^{-1}) foram reduzidos em praticamente todos os tratamentos, exceto para (T 7) água ultra-pura e (T 8) água comum (Tabela 2, Figura 1a).

Entre os adjuvantes, (T 5) Agridex foi o que apresentou o maior valor final de tensão superficial, seguido por (T 2) Agral, (T 3) TA 35, (T 4) Veget Oil, (T 6) MSO e (T 1) LI 700 (Tabela 2, Figura 1a).

Os resultados observados no presente trabalho assemelham-se aos observados por IOST (2008) que ao avaliar a tensão superficial de caldas com o adjuvante LI 700 verificou que com 100 e 200% da dosagem recomendada pelo fabricante obteve respectivamente 32,90 e 32,98 mN m^{-1} de tensão superficial e Xu et al. (2010) que verificaram que o óleo vegetal concentrado e o óleo de sementes modificado (MSO) testados em diversas concentrações, apresentaram em média valores de tensão superficial de 36,38 e 34,00 mN m^{-1} , respectivamente.

Os comportamentos das gotas em relação à cinética do ângulo de contato nas duas superfícies avaliadas (vidro e folha de laranja) demonstram que houve redução significativa nos ângulos de contato de gotas em todos os tratamentos (Tabela 2, Figura 1b e 1c). Além disso, nenhum dos tratamentos apresentou ângulo de contato superior a 90° , indicando que as duas superfícies avaliadas caracterizam-se como hidrofílicas.

Na determinação dos ângulos de contato de gotas em superfície natural (folha de laranja), observa-se que os maiores valores finais foram nos tratamentos (T 8) água comum, seguido por (T 7) água ultra-pura, (T 4) Veget Oil e (T 5) Agridex (Tabela 2). Os tratamentos (T 6) MSO, (T 2) Agral e (T 3) TA 35, apresentaram valores finais intermediários e por fim, o tratamento (T 1) LI 700 foi o que apresentou menor valor final do ângulo de contato de gotas após cinco minutos (Tabela 2).

Segundo IOST (2008), 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 ângulo de contato obtido.

Esta relação foi observada no presente estudo, uma vez que os tratamentos (T 7) água ultra-pura, (T 8) água comum, (T 4) Veget Oil e (T 5) Agridex, apresentaram os maiores valores de tensão superficial e de ângulo de contato de gotas, proporcionando uma menor molhabilidade das superfícies em relação aos outros tratamentos, representados pelos produtos LI 700, Agral, TA 35 e MSO (Tabela 2).

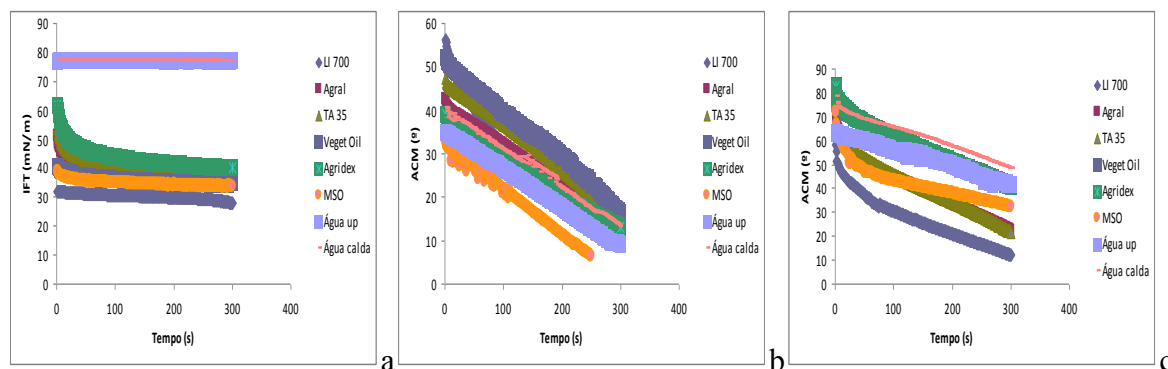


Figura 1. Cinética da tensão superficial (a) e do ângulo de contato de gotas em superfícies artificial (vidro) (b) e natural (folha de laranja) (c), a partir de caldas com os adjuvantes LI 700, Agral, TA 35, Veget Oil, Agridex, MSO, Água ultra-pura e Água comum. Jaboticabal, SP, 2012.

Tabela 2. Valores iniciais, médios e finais (vi, vm e vf) das medições de tensão superficial (IFT mN m⁻¹) e ângulos de contato (AC°) de gotas para as superfícies artificial (vidro) e natural (folha de laranja), em função dos tratamentos. Jaboticabal, SP, 2012.

Tratamentos	IFT (mN m ⁻¹)			AC ° (vidro)			AC ° (folha de laranja)			
	vi	vm	vf	vi	vm	vf	vi	vm	vf	
T 1 (LI 700)	31,78	f 30,25	g 28,02	e 56,24	a 27,34	c 9,17	b 58,40	c 26,81	f 12,14	d
T 2 (Agral)	51,30	d 39,70	d 37,76	c 42,38	a 26,79	c 12,32	a 74,10	b 39,84	e 22,39	c
T 3 (TA 35)	53,92	c 40,48	c 37,44	c 47,53	b 31,09	b 13,98	a 74,94	b 40,61	e 21,82	c
T 4 (Veget Oil)	40,73	e 36,02	e 34,76	d 52,03	a 34,29	a 16,46	a 83,13	a 56,98	b 41,07	a
T 5 (Agridex)	61,50	b 43,61	b 40,02	b 39,17	b 24,77	d 13,00	a 82,58	a 56,88	b 40,93	a
T 6 (MSO)	38,99	e 34,76	f 33,71	d 32,65	b 19,04	f 6,53	b 71,76	b 41,74	d 32,30	b
T 7 (Água up)	77,11	a 77,30	a 77,14	a 35,04	b 21,98	e 9,15	b 63,74	c 52,78	c 41,69	a
T 8 (Água)	77,15	a 77,24	a 76,90	a 40,34	b 26,61	c 12,23	a 78,43	a 61,05	a 47,95	a
Média	54,06	47,42	45,72	43,17	26,06	11,61	73,39	47,08	32,54	
CV (%)	1,88	4,03	1,86	13,76	34,89	22,89	4,45	19,61	14,20	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$); CV (%): coeficiente de variação.

CONCLUSÃO

Os adjuvantes LI 700, Agral, TA 35 e MSO reduziram a tensão superficial da água diminuindo o ângulo de contato entre a calda e as superfícies. Isto promoveu um melhor molhamento da folha de laranja em relação à água e aos óleos vegetal e mineral, o que na prática contribui para uma melhor cobertura e eficiência da pulverização.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, L.A.S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. Campinas, SP: Emopi Gráfica, 2001. 230 p.
- BARRÊTO, A.F. Avaliação de parâmetros da tecnologia de aplicação para o controle da ferrugem asiática da soja. 2011. 81 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO – (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira. Laranja safra 2011/2012. 3º levantamento – SP. Estimativa da safra no triângulo mineiro MG. Dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 04/03/12.
- FERREIRA, M.C. Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes., 1939) em citros. 2003. 64 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003.
- IOST, C. A. R. Efeito de adjuvantes nas propriedades físico-químicas da água e na redução de deriva em pulverizações sobre diferentes espécies de plantas daninhas. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.
- KISSMANN, K.G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Palestras e mesas redondas...** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.
- KONNO, R.H., FRANCO, C.R., OMOTO, C. Suscetibilidade de populações de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) a acaricidas organoestânicos em citros. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.703-709, 2001.
- 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.
- XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; BAGLEY, W.E.; KRAUSE, C.R. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. **Pest Management Science** 2011; 67: 842-851.