

Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática-da-soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta

Mônica Paula Debortoli⁽¹⁾, Nédio Rodrigo Tormen⁽²⁾, Ricardo Silveiro Balardin⁽²⁾, Diego Dalla Favera⁽²⁾, Marlon Tagliapietra Stefanello⁽²⁾, Felipe Frigo Pinto⁽²⁾ e Juliano Daniel Uebel⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida Roraima, nº 1.000, Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: mpdebortoli@yahoo.com.br ⁽²⁾UFSM, Departamento de Defesa Fitossanitária. E-mail: nrtormen@yahoo.com.br, balardin@balardin.com, ddfavera@gmail.com, marlonstefanello@gmail.com, felipefrigo@hotmail.com, julianouebel_1@yahoo.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar o espectro de gotas de pulverização ideal para o controle da ferrugem-asiática-da-soja (*Phakopsora pachyrhizi*), em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. O experimento foi conduzido na safra de 2009/2010. A aplicação de fungicida (piraclostrobina + epoxiconazol, com óleo mineral) foi avaliada com quatro espectros de gotas de pulverização – muito fino, <119 µm; fino, 119 a 216 µm; médio, 217 a 352 µm; e grosso, 353 a 464 µm –, em quatro cultivares de soja (BMX Apollo RR, NA 7636 RR, Fcep 53 RR e TMG 4001 RR) contrastantes quanto a índice de área foliar, estatura de plantas e número de ramos por planta. Foram quantificadas as variáveis: número de gotas por cm², diâmetro mediano volumétrico das gotas, área abaixo da curva de progresso da ferrugem-asiática e produtividade da soja. A definição do espectro de gotas a ser utilizado deve considerar a cultivar e as condições ambientais em que a pulverização será realizada. A magnitude da proteção exercida pelo fungicida varia de acordo com a cobertura de plantas e a penetração de gotas no dossel, proporcionada pelos diferentes espectros de gota. O espectro de gotas fino proporciona boa deposição de gotas, controle da doença e produtividade, independentemente da cultivar avaliada.

Termos para indexação: *Phakopsora pachyrhizi*, cobertura de plantas, controle químico, deposição de gotas, penetração no dossel, tecnologia de aplicação.

Spray droplet spectrum and control of Asian soybean rust in cultivars with different plant architecture

Abstract – The objective of this work was to determine the ideal spray droplet spectrum for the control of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*), in cultivars with different plant architecture. The experiment was carried out in the 2009/2010 crop season. Fungicide application (pyraclostrobin + epoxyconazole, with mineral oil) was evaluated with four spray droplet spectra – very fine, <119 µm; fine, 119 to 216 µm; medium, 217 to 352 µm; and coarse, 353 to 464 µm – in four soybean cultivars (BMX Apollo RR, NA 7636 RR, Fcep 53 RR, and TMG 4001 RR) contrasting as to leaf area index, plant height, and number of branches per plant. The following variables were quantified: number of drops per cm², median volume diameter of droplets, area under the progress curve of soybean rust, and soybean yield. The definition of the droplet spectrum to be used should consider cultivar and environmental conditions in which the pulverization will be done. The protection magnitude exerted by the fungicide varies according to the plant coverage and the penetration of droplets into the canopy provided by the different droplet spectra. The fine droplet spectrum provides good droplet deposition, disease control, and productivity, regardless of the evaluated cultivar.

Index terms: *Phakopsora pachyrhizi*, plant coverage, chemical control, droplet deposition, canopy penetration, application technology.

Introdução

A eficiência da tecnologia de aplicação é determinada pela distribuição adequada do produto no alvo. Segundo Paulsrud & Montgomery (2005), a tecnologia de aplicação de fungicidas tem como objetivo produzir

um tamanho de gotas que possibilite bom equilíbrio entre cobertura de plantas, penetração no dossel e deposição de gotas nas folhas. O sucesso no manejo da ferrugem-asiática-da-soja depende do monitoramento frequente da doença na área, da escolha do momento ideal de aplicação, do uso de fungicidas com maior

residual, da boa cobertura do alvo pela aplicação e, em muitos casos, da reaplicação (Butzen et al., 2005a). De acordo com esse conceito, a tecnologia de aplicação, tanto a aérea como a terrestre, assume importante papel na eficácia de fungicidas para o manejo da ferrugem asiática (Butzen et al., 2005b).

A qualidade da aplicação depende de diversos fatores, como escolha de fungicidas eficientes, momento ideal para aplicação, frequência suficiente de aplicações, volume adequado de aplicação, tecnologia de aplicação ajustada ao alvo e à cultura (Cunha et al., 2010). Tanto a deposição quanto a perda de produtos são influenciadas por configurações de trabalho dos pulverizadores, velocidade do vento, estatura das plantas, condições meteorológicas, arquitetura de planta, características morfológicas – como pilosidade e cerosidade –, estágio de desenvolvimento e volume de aplicação (Souza et al., 2003).

A penetração de gotas no dossel de uma cultura é fator fundamental para o controle químico de doenças, especialmente das que iniciam o processo infeccioso nas folhas baixas, como é o caso da ferrugem-asiática-da-soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. (Raetano, 2007). Assim, a variabilidade entre cultivares de soja, no que tange à arquitetura de plantas, impõe barreiras distintas à penetração de gotas no dossel no momento da aplicação. Essas barreiras precisam ser vencidas pelas gotas para que ocorra boa cobertura da planta pelo fungicida e, conseqüentemente, controle satisfatório da doença.

Apesar de existirem diversos trabalhos na área de tecnologia de aplicação que quantifiquem a deposição de calda no dossel de plantas de soja, poucos levam em consideração as barreiras impostas pelas diferenças de arquitetura entre as cultivares. Ross (1981) define arquitetura de planta como fatores que influenciam a forma, o tamanho, a geometria e a estrutura externa da planta. A arquitetura inclui diversos caracteres, como número de hastes e ramos, estrutura de hastes ou ramos (número e comprimento dos entrenós), e estrutura, tamanho e orientação de folhas (Huyghe, 1998).

A distribuição de gotas ao longo da planta depende da arquitetura de cada cultivar, já que as folhas da parte superior do dossel interceptam grande parte das gotas pulverizadas, o que impede que as folhas do terço inferior recebam quantidade adequada de ingrediente ativo. Cada cultivar apresenta características peculiares no

que diz respeito a sua arquitetura, que variam conforme a época de semeadura e as condições ambientais e de cultivo. Além de influenciar a deposição do fungicida, essas características criam condições de microclima no interior do dossel que podem favorecer ou não a ocorrência ou o rápido estabelecimento da doença (Wilson et al., 1999). Tem-se observado, também, tendência de as cultivares de soja apresentarem menor porte, maior potencial de ramificação e menor índice de área foliar, o que aumenta a necessidade de proteção dos tecidos para que as plantas possam expressar seu máximo potencial produtivo.

O objetivo deste trabalho foi determinar o espectro de gotas de pulverização ideal para o controle da ferrugem-asiática-da-soja, em cultivares com diferentes arquiteturas de planta.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na safra de 2009/2010, na área da Estação Experimental do Instituto Phytus, no Município de Itaara, RS (29°58'S e 53°81'W, a 440 m de altitude). O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,5 m, com 12 plantas por metro e população final de 240.000 plantas por hectare. A cultura foi estabelecida com plantio direto, em sucessão à cultura de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 4x5: quatro cultivares de soja (BMX Apollo RR, NA 7636 RR, Fcep 53 RR e TMG 4001 RR), quatro espectros de gota – muito fino, <119 µm; fino, 119 a 216 µm; médio, 217 a 352 µm; e grosso, 353 a 464 µm, segundo normas BCPC (British Crop Production Council) – e testemunha sem aplicação. A parcela experimental foi constituída de seis linhas de semeadura de 5 m de comprimento (15 m²), com área útil de 8 m². A área útil da parcela experimental foi obtida tendo-se desconsiderado as linhas de semeadura das laterais e 0,5 m em cada cabeceira da parcela.

A primeira aplicação do fungicida – piraclostrobina + epoxiconazol (66,5 + 25 g ha⁻¹) + Assist (óleo mineral) (0,33% v v⁻¹) – foi efetuada no fechamento das entrelinhas de plantio, seguida de mais duas aplicações aos 21 dias após a primeira aplicação e aos 14 dias após a segunda aplicação. Utilizou-se pulverizador costal pressurizado a CO₂ e volume de aplicação de 150 L ha⁻¹. O espectro de gotas foi obtido a partir da

escolha da ponta de pulverização, do ajuste da pressão de trabalho e da velocidade de caminhamento, sem alteração no volume de aplicação.

A calibração do espectro de gotas das diferentes combinações de ponta de pulverização com pressão de trabalho foi realizada antes da aplicação, a partir da coleta de cartões hidrossensíveis e da determinação do diâmetro mediano volumétrico (DMV). Os cartões também foram utilizados para a coleta de dados logo após as aplicações do produto. Esses cartões são confeccionados a partir do tratamento de papel brilhante com tinta sensível à água, o azul de bromofenol. Este corante é amarelo, quando seco, e o contato com as gotas d'água produz manchas azuis (Turner & Huntington, 1970; Matthews, 2000).

A disposição dos cartões no interior do dossel foi realizada por meio do emprego de haste metálica, que foi posicionada perpendicularmente à linha da cultura. A haste apresentava três suportes onde os cartões foram fixados. A posição de cada cartão nos terços foi ajustada à estatura de cada cultivar (terços inferior, médio e superior do dossel).

Logo após a aplicação dos tratamentos, os cartões foram rapidamente coletados e acondicionados em papel adesivo para serem digitalizados em "scanner" com resolução de varredura de 1.200 dpi. A partir da análise da imagem digital dos cartões, realizada com aplicativo CIR 1.5 (Inta, 2002), foram obtidos a cobertura e a penetração das gotas de pulverização, com base no número de gotas por cm^2 e no DMV em cada terço.

A arquitetura das plantas foi avaliada por meio da determinação da estatura de plantas, do número de ramos por planta e do índice de área foliar (IAF) no momento das aplicações. A estatura foi medida em campo, com régua de madeira, e representou a distância compreendida entre o colo da planta e o último ponto de crescimento da haste principal. O número de ramos foi obtido por meio de contagem direta, logo após a remoção das folhas, tendo-se considerado como ramo as ramificações com, no mínimo, dois nós. Para a determinação do IAF, as plantas foram coletadas e tiveram todas as folhas destacadas e dispostas junto de régua graduada, sobre superfície, para serem fotografadas com câmera digital posicionada a 1,5 m acima das folhas. As fotos foram submetidas à análise de área foliar por meio do programa Quant v1.0.2 (Vale et al., 2003).

A severidade de ferrugem asiática foi avaliada mediante determinação do percentual de área foliar com sintomas da doença. Essa avaliação foi realizada visualmente em cada parcela, e representou a média do percentual de tecido com sintomas, em todas as plantas analisadas. As avaliações foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a última aplicação dos tratamentos. As notas de severidade da doença serviram para o cálculo da área abaixo da curva de progresso (AACP) da doença. Quando as plantas atingiram estágio R8, a colheita das plantas foi realizada, para a determinação da produtividade final da soja.

Os dados foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk, que mostrou a normalidade dos dados. A significância dos fatores foi determinada pela análise de variância, por meio do programa estatístico Assistat 7.5 Beta (Silva & Azevedo, 2002). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados obtidos não necessitaram ser transformados para a realização das análises.

Resultados e Discussão

Observou-se interação entre as cultivares e os espectros de gota avaliados, para as variáveis relacionadas à deposição de gotas (numero de gotas por cm^2 e DMV). Nas três aplicações, foi verificada redução no DMV do terço superior para o inferior (Tabela 1). Bretthauer et al. (2008), ao avaliar espectro de gotas médio e muito grosso para controle de ferrugem-asiática-da-soja, relataram que o DMV na porção inferior das plantas diminuía, em média, 12,6 e 11,6%, respectivamente.

Para Yu et al. (2009), o tamanho de gotas é um dos parâmetros mais importantes para o controle eficaz de pragas e doenças. Portanto, o espectro de gotas deve ter diâmetro mediano volumétrico suficiente para depositar no alvo, sem evaporar, a calda de pulverização com o produto. Contudo, o espectro também deve proporcionar boa cobertura do alvo pelo ingrediente ativo (Reichard et al., 1977). Para isso, é necessário que a tecnologia de aplicação produza gotas mais finas.

Na primeira aplicação, houve maior uniformidade na distribuição de gotas no interior do dossel do que na segunda e na terceira (Tabela 2). Nessa aplicação, foram observadas diferenças significativas na deposição de gotas, de acordo com o espectro testado.

Tabela 1. Diâmetro mediano volumétrico obtido nas três aplicações com diferentes espectros de gota, em quatro cultivares de soja⁽¹⁾.

Cultivar	Espectro de gotas				Média
	Muito fino	Fino	Médio	Grosso	
Primeira aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	109,3aC ¹	286,2aB	417,0aA	412,8abA	305,7a
NA 7636 RR	109,4aC	290,8aB	406,7aA	366,4bA	
Fcep 53 RR	134,9aD	238,5aC	337,0bB	470,5aA	
TMG 4001 RR	122,6aD	298,1aC	417,6aB	472,7aA	
Terço médio					
BMX Apollo RR	119,2aB	241,9aA	241,9bA	270,7bA	234,8b
NA 7636 RR	119,9aC	242,7aB	364,4aA	391,8aA	
Fcep 53 RR	137,9aB	172,2aB	341,2aA	266,3bA	
TMG 4001 RR	133,3aB	203,6aB	188,3bB	322,0abA	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	126,0aB	191,4aB	181,3cB	290,6bA	207,8c
NA 7636 RR	110,7aC	158,5abBC	199,3bcB	395,3aA	
Fcep 53 RR	71,8aC	157,4abB	259,1abA	270,9bA	
TMG 4001 RR	135,5aC	109,4bC	277,9	390,2aA	
Média	119,2D	215,9C	302,6B	360,0A	
CV (%)	12,53				
Segunda aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	126,3aB ¹	276,5aAB	423,8aA	392,1aA	327,8a
NA 7636 RR	121,4aC	254,2aBC	449,1aAB	499,3aA	
Fcep 53 RR	123,2aB	313,4aAB	442,3aA	492,5aA	
TMG 4001 RR	123,1aB	271,4aAB	482,7aA	453,0aA	
Terço médio					
BMX Apollo RR	132,0aB	194,1abB	218,9aAB	292,2aA	215,2b
NA 7636 RR	122,6aC	157,4bBC	237,9aB	354,4aA	
Fcep 53 RR	146,6aB	154,6bB	258,3aA	286,3aA	
TMG 4001 RR	105,9aB	252,3aA	238,9aA	290,2aA	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	101,2aB	148,3abB	265,8aA	331,6aA	199,1c
NA 7636 RR	106,2aB	92,6bB	225,1aA	289,3aA	
Fcep 53 RR	112,6aC	187,7aBC	212,8aAB	298,6aA	
TMG 4001 RR	93,5aC	193,0aB	226,6aAB	301,5aA	
Média	117,9C	208,0B	306,9A	356,7A	
CV (%)	20,09				
Terceira aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	127,6aB ¹	200,9aB	376,7aA	440,3aA	293,4a
NA 7636 RR	122,7aC	247,8aBC	350,1aAB	475,9aA	
Fcep 53 RR	139,7aB	259,3aB	289,7aB	483,6aA	
TMG 4001 RR	114,2aC	239,7aBC	357,5aAB	468,4aA	
Terço médio					
BMX Apollo RR	125,0aB	245,6aAB	214,7aAB	333,1aA	226,1b
NA 7636 RR	115,3aB	201,5aB	220,0aAB	362,2aA	
Fcep 53 RR	92,4aB	207,9aAB	245,6aA	306,8aA	
TMG 4001 RR	124,9aB	225,8aAB	273,1aAB	323,3aA	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	113,8aB	175,9aB	148,6aB	314,5aA	193,4b
NA 7636 RR	122,5aB	202,4aAB	205,2aAB	284,8aA	
Fcep 53 RR	110,7aB	164,1aAB	217,6aAB	246,2aA	
TMG 4001 RR	102,6aB	169,5aB	148,3aB	367,0aA	
Média	117,6D	211,7C	253,9B	367,2A	
CV (%)	22,87				

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha (entre espectros) e minúsculas na coluna (entre cultivares), não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Cobertura de gotas (número de gotas por cm²) obtida nas três aplicações com diferentes espectros de gota, em quatro cultivares de soja⁽¹⁾.

Cultivar	Espectro de gotas				Média
	Muito fino	Fino	Médio	Grosso	
Primeira aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	238,7bAB ¹	248,0abA	189,0abB	191,0aB	210,4a
NA 7636 RR	357,0aA	221,3abB	140,3bcC	137,7bC	
Fcep 53 RR	231,7bAB	268,7aA	217,7aB	212,3aB	
TMG 4001 RR	247,7bA	198,7bA	134,3cB	131,7bB	
Terço médio					
BMX Apollo RR	131,3aA	106,7aA	43,3aB	50,3aB	75,6b
NA 7636 RR	80,3bcA	78,3aAB	37,3aB	48,0aAB	
Fcep 53 RR	78,3cA	95,7aA	53,7aA	56,3aA	
TMG 4001 RR	121,7abA	112,7aAB	45,0aC	71,3aBC	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	65,0aA	33,7aAB	24,3aAB	22,0aB	33,0c
NA 7636 RR	25,3aA	32,0aA	12,3aA	15,0aA	
Fcep 53 RR	42,3aA	44,0aA	36,3aA	27,7aA	
TMG 4001 RR	69,0aA	40,3aAB	20,0aB	19,3aB	
Média	140,7A	123,3A	79,5B	81,9B	
CV (%)	12,49				
Segunda aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	253,0aA ¹	241,7aAB	160,7aB	168,3aAB	192,5a
NA 7636 RR	205,3aA	133,0bA	171,0aA	163,7aA	
Fcep 53 RR	266,7aA	216,0abAB	188,7aAB	144,7aB	
TMG 4001 RR	277,3aA	237,0aA	150,3aB	102,0aB	
Terço médio					
BMX Apollo RR	79,3aA	51,3aB	44,7aB	25,7abC	38,2b
NA 7636 RR	42,0cAB	57,3aA	35,7abB	27,0aB	
Fcep 53 RR	55,3bcA	30,3bB	28,7bcB	11,7bC	
TMG 4001 RR	65,7abA	23,0bB	15,7cB	18,0abB	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	22,7aA	14,7abB	9,3aBC	5,3aC	13,3c
NA 7636 RR	20,7aA	17,3aAB	11,7aBC	8,0aC	
Fcep 53 RR	25,7aA	10,3bB	6,7aB	6,0aB	
TMG 4001 RR	19,3aA	14,7abA	13aAB	6,7aB	
Média	111,1A	87,2B	69,7C	57,3C	
CV (%)	20,80				
Terceira aplicação, terço superior					
BMX Apollo RR	267,7aA ¹	219,3aAB	166,0aBC	136,3aC	207,8a
NA 7636 RR	303,7aA	203,0aB	144,0aB	137,7aB	
Fcep 53 RR	272,0aA	250,7aA	205,7aAB	149,3aB	
TMG 4001 RR	257,3aA	223,3aA	209,0aA	179,7aA	
Terço médio					
BMX Apollo RR	108,0aA	46,3bcB	39,7aB	36,0aB	46,7b
NA 7636 RR	66,7bA	31,0cB	16,0bB	17,0aB	
Fcep 53 RR	59,7bB	86,3aA	45,0aBC	28,3aC	
TMG 4001 RR	79,7bA	51,7bB	17,3bcC	18,0aC	
Terço inferior					
BMX Apollo RR	26,3aA	22,0aA	13,0aB	13,0aB	14,6c
NA 7636 RR	17,7bA	14,3aAB	9,0aB	8,0aB	
Fcep 53 RR	21,7abA	18,7aAB	11,7aB	11,7aB	
TMG 4001 RR	16,3bA	14,7aAB	10,0aB	6,3aB	
Média	124,7A	98,4B	73,9C	61,8C	
CV (%)	20,89				

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha (entre espectros) e minúsculas na coluna (entre cultivares), não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A deposição no terço superior, nas três aplicações, foi superior a 100 gotas por cm², tendo chegado a atingir valores acima de 250 gotas por cm², apropriados para aplicação de fungicidas (Ozeki & Kunz, 1998; Christofolletti, 1999).

Em geral, espectros de gotas muito finos e finos proporcionaram maior deposição de gotas que espectros médios e grossos (Tabela 2). As cultivares TMG 4001 RR e BMX Apollo RR apresentaram redução significativa na deposição de gotas no terço inferior à medida que o espectro mudou de muito fino para grosso. Cunha et al. (2010) verificaram que gotas produzidas por pontas de pulverização com dispositivo antideriva (gotas com DMV maior) penetraram menos no dossel da soja que gotas produzidas pelas mesmas pontas de pulverização sem este dispositivo (com menor DMV).

Wolf & Daggupati (2009), ao avaliar a penetração de gotas no dossel de soja propiciada por 20 diferentes pontas de pulverização, com espectros de gotas variados (fino, médio e grosso), obtiveram cobertura no terço inferior que não ultrapassou 10% do tecido. Para esses autores, a densidade de folhas é o fator que mais influencia a penetração das gotas.

Nas três aplicações e em todos os espectros de gotas avaliados, o terço superior apresentou o maior número de gotas por cm² (Tabela 2), com deposição de dose de ingrediente ativo suficiente para proteção adequada das folhas. Segundo Zhu et al. (2002), à medida que as plantas crescem, aumenta a concentração das gotas no topo do dossel, e a deposição de gotas frequentemente é maior que a obtida nos terços inferior e médio. Houve redução de 20 a 30% no número de gotas depositadas com espectro grosso, em comparação ao espectro muito fino.

Na segunda aplicação, as cultivares BMX Apollo RR e NA 7636 RR apresentaram maior deposição de gotas no terço médio, com espectro fino, médio e grosso (Tabela 2). Na terceira aplicação, no entanto, o comportamento das cultivares mudou ligeiramente, e a cultivar Fcep 53 RR substituiu a NA 7636 RR entre as com os maiores valores de deposição de gotas médias e grossas, no terço médio.

Com base nos dados de deposição das três aplicações, a cultivar BMX Apollo RR foi a menos afetada pela alteração no espectro, e as cultivares TMG 4001 RR e NA 7636 RR foram as mais sensíveis à alteração.

As quatro cultivares avaliadas apresentaram características de arquitetura de planta distintas

(Tabela 3). A estatura de plantas apresentou diferenças significativas entre as quatro cultivares, nas três aplicações, e a cultivar TMG 4001 RR foi a de maior porte, enquanto as cultivares BMX Apollo RR e Fcep 53 RR, em geral, foram as de menor. Para número de ramos por planta e IAF, essas cultivares figuraram, comumente, entre as que apresentaram os menores valores, diferentemente da cultivar TMG 4001 RR, que, em geral, teve maior potencial de emissão de ramos e maior IAF. A cultivar NA 7636 RR apresentou valores intermediários, semelhantes, muitas vezes, ao das cultivares BMX Apollo RR e Fcep 53 RR.

A aplicação de fungicida proporcionou redução significativa da AACP da ferrugem asiática em todas as cultivares avaliadas (Tabela 4). O comportamento das cultivares BMX Apollo RR e Fcep 53 RR se destacou nos espectros médio e grosso. Essas cultivares raramente diferiram quanto aos parâmetros de deposição de gotas e aos de arquitetura de plantas (Tabelas 1, 2 e 3).

As cultivares NA 7636 RR e TMG 4001 RR apresentaram maior variação no controle da doença proporcionado pelos diferentes espectros de gota (Tabela 4). Com gotas muito finas e finas, elas apresentaram AACP semelhante ao das demais, mas maiores valores nos outros espectros. Essas

Tabela 3. Estatura de planta, número de ramos por planta e índice de área foliar das quatro cultivares de soja avaliadas, no momento de cada aplicação de fungicida⁽¹⁾.

Cultivar	Primeira aplicação	Segunda aplicação	Terceira aplicação
Estatura de plantas (cm)			
BMX Apollo RR	65,5c	76,3c	78,3bc
NA 7636 RR	75,0b	82,3b	83,0b
Fcep 53 RR	70,8b	76,0c	75,0c
TMG 4001 RR	97,5a	102,3a	102,3a
CV (%)	2,72	2,77	2,91
Número de ramos por planta			
BMX Apollo RR	2,8b	3,0c	3,0c
NA 7636 RR	3,9b	5,1b	5,1b
Fcep 53 RR	2,5b	3,4bc	3,1c
TMG 4001 RR	6,9a	7,4a	7,5a
CV (%)	18,40	17,33	17,87
Índice de área foliar			
BMX Apollo RR	3,7a ¹	4,0b	2,8b
NA 7636 RR	3,7a	3,6b	3,5b
Fcep 53 RR	3,6a	3,3b	3,3b
TMG 4001 RR	4,3a	6,6a	6,0a
CV (%)	17,49	13,90	18,74

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

cultivares também apresentaram as maiores variações de deposição de gotas entre espectros, tiveram maior potencial de ramificação e maior IAF (Tabelas 1, 2 e 3). Portanto, houve interferência dos componentes de arquitetura de plantas na qualidade de aplicação.

Não houve diferença significativa no controle da doença quando da mudança do espectro de muito fino para fino, em nenhuma das cultivares (Tabela 4). Porém, em todas as aplicações, o espectro de gotas muito fino proporcionou cobertura de gotas significativamente superior à dos demais espectros (Tabela 2). Esse resultado é indicativo de que, apesar do número de gotas ter sido maior com espectro muito fino, não houve incremento de controle em comparação ao espectro fino. Quando a gota é aplicada em direção ao alvo, ela pode ser perdida por deriva ou por evaporação (Bukovac et al., 1995). Esses processos variam conforme o tamanho da gota, a estrutura da superfície foliar, as propriedades físicas da formulação e as condições ambientais. Em muitos casos, gotas de fungicidas sistêmicos precisam permanecer em contato com a folha (alvo) por um período mínimo, para que a planta possa absorver o ingrediente ativo (Yu et al., 2009). Segundo Matthews (2000), gotas pequenas têm tempo de vida (tempo de extinção) muito reduzido. Assim, se o ingrediente ativo perder seu diluente, há formação de uma partícula minúscula de ingrediente concentrado que não é absorvido e que pode ser removido da superfície foliar.

Yu et al. (2009), ao comparar gotas de diferentes DMV, em condições extremas de umidade relativa do ar (URA), verificaram que gotas com DMV de 246 μm evaporam dez vezes mais rápido que gotas com DMV

de 800 μm , a 60% de URA. Além do menor número de gotas obtido no interior do dossel (terços inferior e médio), em comparação ao terço superior, também foi observada redução significativa no DMV das gotas que atingiram o interior do dossel. Esses fatores podem ajudar a explicar a ausência de melhoria no controle da doença com espectro de gotas muito fino, que, apesar de ter maior número de gotas por cm^2 , não diferiu do espectro de gotas fino.

Isso pode justificar, também, o fato de o espectro de gotas grossas ter possibilitado, em algumas cultivares, controle da doença comparável ao proporcionado pela aplicação de gotas finas (Tabela 4). A retenção e a absorção do ingrediente ativo na superfície foliar são dependentes da cobertura de gotas e do tempo que a gota permanece no alvo (Braze et al., 2004). No entanto, o maior tempo de permanência da gota sobre a superfície foliar, obtida com gotas grossas, em geral, não compensa a menor cobertura que esse espectro de gotas possibilita.

Os dados indicam que, para fins de controle da ferrugem asiática nas cultivares BMX Apollo RR e Fcep 53 RR, o resultado da aplicação deve ser satisfatório independentemente do espectro de gotas utilizado. Já nas cultivares NA 7636 RR e TMG 4001 RR, gotas de espectro muito fino, fino e médio poderão reduzir significativamente os níveis da doença.

As variações no controle da doença, propiciadas pelos diferentes espectros de gotas, impactaram significativamente a produtividade das cultivares avaliadas (Tabela 5). O impacto positivo do controle da doença possibilitou incrementos de produtividade que variaram de 11,6 a 40,6%, em comparação à testemunha. A cultivar NA 7636 RR foi a mais produtiva na ausência de aplicação de fungicida, e a cultivar TMG 4001 RR foi a mais sensível à doença. A cultivar Fcep 53 RR apresentou bom desempenho produtivo, com produção de até 3.884,7 kg ha^{-1} .

A aplicação com gotas finas propiciou os maiores incrementos de produtividade nas quatro cultivares, tendo sempre diferido significativamente da testemunha. Esse espectro, portanto, apresenta possibilidade de ampla utilização, em cultivares de distintas arquiteturas de planta. Para Butzen et al. (2005b), gotas finas/médias com DMV de 220 μm ou menores têm proporcionado a melhor cobertura na aplicação para controle da ferrugem asiática. Ozkan

Tabela 4. Área abaixo da curva de progresso da ferrugem-asiática-da-soja após a aplicação de fungicida com diferentes espectros de gotas, em quatro cultivares de soja⁽¹⁾.

Espectro	BMX Apollo RR	NA 7636 RR	Fcep 53 RR	TMG 4001 RR
Testemunha	336,0dA	387,8cA	574,8bA	656,3aA
Muito fino	3,8aB	15,4aC	11,5aB	17,49aC
Fino	5,3aB	12,6aC	10,6aB	18,6aC
Médio	6,9cB	25,0abBC	14,4bcB	32,2aBC
Grosso	13,0bB	36,8aB	19,1bB	42,5aB
CV (%)	7,65			

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna (entre espectros) e minúsculas na linha (entre cultivares), não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Desempenho produtivo da soja (kg ha⁻¹) e variação na produtividade (Δ) em comparação à testemunha, após aplicação de fungicida com diferentes espectros de gota, em quatro cultivares de soja.

Espectro	BMX Apollo RR		NA 7636 RR		Fcep 53 RR		TMG 4001 RR	
	Produtividade	Δ (%)	Produtividade	Δ (%)	Produtividade	Δ (%)	Produtividade	Δ (%)
Testemunha	2829,7Bd	0,0	3135,3aC	0,0	2763,9bC	0,0	2159,4cC	0,0
Muito fino	3590,6aAB	26,9	3696,2aA	17,9	3607,7aB	30,5	2896,9bA	34,2
Fino	3717,2aA	31,4	3763,0aA	20,0	3884,7aA	40,6	3029,7bA	40,3
Médio	3332,8aC	17,8	3453,0aB	10,1	3480,4aB	25,9	2429,7bB	12,5
Grosso	3434,4abBC	21,4	3655,7aAB	16,6	3413,3bB	23,5	2410,9cB	11,6
CV (%)	4,09							

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna (entre espectros) e minúsculas na linha (entre cultivares), não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

et al. (2007) também apontam que esse espectro de gotas proporciona maior cobertura e penetração de gotas no dossel da soja.

As cultivares com maior ramificação e IAF – NA 7636 RR e TMG 4001 RR – apresentaram maior variação na produtividade, em função dos diferentes espectros avaliados (Tabelas 3 e 5). As cultivares BMX Apollo RR e Fcep 53 RR tiveram variações muito pequenas de produtividade. Esses resultados são indicativos de que cultivares com maior capacidade de ramificação e maior IAF necessitam de maior cobertura de gotas. Nesse caso, o espectro de gotas fino apresentou número de gotas suficiente para proteger os tecidos, ao contrário dos espectros médio e grosso. Provavelmente, para atingir maior cobertura de gotas nessas cultivares, com espectros médio e grosso, o volume de aplicação deverá ser aumentado. Segundo Butzen et al. (2005b) e Ozkan et al. (2007), em maiores densidades de folhas, o aumento de volume pode fornecer cobertura e penetração suficientes para proteger o tecido foliar da soja contra o patógeno.

Conclusões

1. A definição do espectro de gotas para aplicação de calda fungicida deve considerar a cultivar e as condições ambientais na qual a operação será realizada.

2. O espectro de gotas fino (DMV, 119 a 216 μ m) proporciona bons resultados em termos de deposição de gotas, controle da doença e produtividade, nas quatro cultivares de soja.

3. A magnitude da proteção da soja à ferrugem asiática varia em função da cobertura e da penetração de gotas proporcionadas pela aplicação.

Referências

- BRAZEE, R.D.; BUKOVAC, M.J.; ZHU, H. Diffusion model for plant cuticular penetration by spray-applied weak organic acid bioregulator in presence or absence of ammonium nitrate. **Transactions of the ASAE**, v.47, p.629-635, 2004.
- BRETTTHAUER, S.M.; MUELLER, T.A.; DERKSEN, R.C.; ZHU, H.; BODE, L.E. **The effects of spray application rate and droplet size on applications to control soybean rust**. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. 9p. (ASABE. Paper, 084219).
- 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, 4., 1995, Melbourne. **Proceedings**. Melbourne: ISSA, 1995. p.177-185.
- BUTZEN, S.; BEUDOT, F.; MCINNES, B. Asian soybean rust: fungicides. **Crop Insights**, v.15, p.1-5, 2005a. Available at: <<https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/template.CONTENT/guid.6604153B-DB01-CE9E-6A9D-B916EE2573BB>>. Accessed on: 1 Aug. 2012.
- BUTZEN, S.; MARCON, A.; MCINNES, B.; SCHUH, W. Asian soybean rust: fungicide application technology. **Crop Insights**, v.15, p.1-6, 2005b. Available at: <https://www.pioneer.com/pv_obj_cache/pv_obj_id_1EAD36E2D0ACC79A055D5437DEDB29BFBC8A0600/filename/sr_apptech.pdf>. Accessed on: 1 Aug. 2012.
- CHRISTOFOLETTI, J.C. **Pulverização ou aplicação?** São Paulo: Teejet South América, 1999. 71p. (Boletim técnico, BT-01/99).
- CUNHA, J.P.A.R. da; COELHO, L.; ARAÚJO, R.G.C. Spray nozzle and adjuvant effects on fungicidal control of soybean Asian rust. **Interciência**, v.35, p.765-768, 2010.
- HUYGHE, C. Genetics and genetic modifications of plant architecture in grain legumes: a review. **Agronomie**, v.18, p.383-411, 1998.

- INTA. **T&C CIR**: conteo y tipificación de impactos de pulverización. Versión 1.5. Buenos Aires: INTA, 2002.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. 3rd ed. Berkshire: International Pesticide Application Research Centre, 2000. 432p.
- OZEKI, Y.; KUNZ, R.P. Tecnologia de aplicação aérea: aspectos práticos. In: GUEDES, J.V.C.; DORNELLES, S.H.B. **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos**: novas tecnologias. Santa Maria: UFSM, 1998. p.65-78.
- OZKAN, E.; BRETTHAUER, S.; MILES, M.; WOLF, R. Application basics. In: DORRANCE, A.E.; DRAPER, M.A.; HERSHMAN, D.E. (Ed.). **Using foliar fungicides to manage soybean rust**. Columbus: The Ohio State University, 2007. p.61-70.
- PAULSRUD, B.E.; MONTGOMERY, M. **Characteristics of fungicides used in field crops**. Champaign: University of Illinois at Urbana, 2005. 18p. (Report on plant disease, 1002).
- RAETANO, C.G. Assistência de ar e outros métodos de aplicação a baixo volume em culturas de baixo fuste: a soja como modelo. **Summa Phytopathologica**, v.33, p.105-106, 2007. Suplemento.
- REICHARD, D.L.; RETZER, H.J.; LILJEDAHN, L.A.; HALL, F.R. Spray droplet size distributions delivered by air blast orchard sprayers. **Transactions of the ASABE**, v.20, p.232-237, 1977.
- ROSS, J. **The radiation regime and architecture of plant stands**. Dordrecht: Kluwer, 1981. 391p.
- SILVA, F. de A.S. e; AZEVEDO, C.A.V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, p.71-78, 2002.
- SOUZA, R.T.; PALLADIN, L.A.; VELINI, E.D.; KAMINSKI, V.; BRAUN, S. Pulverização eletrostática. **Cultivar**, n. 21, p.1-10, 2003. (Caderno técnico, máquinas).
- TURNER, C.R.; HUNTINGTON, K.A. The use of water sensitive dye for the detection and assessment of small spray droplets. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.15, p.385-387, 1970.
- VALE, F.X.R.; FERNADES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. QUANT: a software for plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003, Christchurch. **Proceedings**. Christchurch: International Society for Plant Pathology, 2003. p.105.
- WILSON, P.A.; HANAN, J.S.; ROOM, P.M.; CHAKRABORTY, S.; DOLEY, D. Using Lindenmayer systems to model morphogenesis in a tropical pasture legume *Stylosanthes scabra*. **Canadian Journal of Botany**, v.77, p.394-403, 1999.
- WOLF, R.E.; DAGGUPATI, N.P. Nozzle type effect on soybean canopy penetration. **Applied Engineering in Agriculture**, v.25, p.23-30, 2009.
- YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; KRAUSE, C.R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASAE**, v.52, p.39-49, 2009.
- ZHU, H.; ROWLAND, D.L.; DORNER, J.W.; DERKSEN, R.C.; SORENSEN, R.B. Influence of plant structure, orifice size, and nozzle inclination on spray penetration into peanut canopy. **Transactions of the ASAE**, v.45, p.1295-1301, 2002.

Recebido em 21 de setembro de 2011 e aprovado em 30 de julho de 2012