

FELIPE MATHEUS SANTOS E SOUZA

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PULVERIZAÇÃO EM BARRA
ASSISTIDA POR AR NA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS**

Botucatu

2017

FELIPE MATHEUS SANTOS E SOUZA

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PULVERIZAÇÃO EM BARRA
ASSISTIDA POR AR NA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS**

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

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMEN- TO
DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP
- FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S725a Souza, Felipe Matheus Santos e, 1991-
Avaliação quali-quantitativa da pulverização em barra
assistida por ar na cultura da soja em diferentes está-
dios fenológicos / Felipe Matheus Santos e Souza. - Botu-
catu: : [s.n.], 2017
57 p.: grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Carlos Gilberto Raetano
Inclui bibliografia

1. Soja - Cultivo. 2. Pulverização. 3. Produtos fitos-
sanitários - Tecnologia de aplicação. I. Raetano, Carlos
Gilberto. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciên-
cias Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PULVERIZAÇÃO EM BARRA ASSISTIDA POR AR NA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS"

AUTOR: FELIPE MATHEUS SANTOS E SOUZA

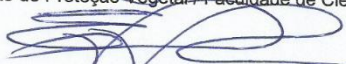
ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

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



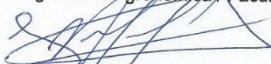
Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO

Depto de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. EVANDRO PEREIRA PRADO

Depto de Engenharia Agrônômica / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP/Dracena



Prof. Dr. EDUARDO NEGRISONI

Depto de Agronomia / FIB - Faculdades Integradas de Bauru

Botucatu, 28 de julho de 2017.

*Aos meus amados pais,
Maria Terezinha e Nelson,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força, coragem, saúde e fé para superar todos os desafios encontrados;

Aos meus pais, Nelson e Maria Terezinha, pela vida, amor, educação e pelo apoio dado durante todos esses anos;

À minha irmã, Ana Paula, pelo apoio, compreensão e amizade;

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas – Campus de Botucatu, juntamente com seus professores e funcionários pela contribuição em minha formação e pelos ensinamentos oferecidos;

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Proteção de Plantas, em especial ao Prof. Dr. Carlos Gilberto Raetano por suas orientações, convivência; apoio, ensinamentos, amizade e oportunidades oferecidas;

Aos companheiros do Laboratório de Tecnologia de Aplicação os quais tive a oportunidade de conviver e aprender constantemente com eles, os quais tiveram grande importância na realização deste trabalho;

Aos amigos de República e Departamento pela amizade, apoio durante essa trajetória, e que contribuíram para meu crescimento pessoal;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo;

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da FCA/UNESP, pelo apoio nas atividades desenvolvidas em todo o curso;

Aos funcionários e companheiros do Departamento de Proteção Vegetal;

À Seção de Pós-Graduação.

RESUMO

A homogeneidade na distribuição da pulverização no dossel das culturas pode melhorar a eficiência de controle de agentes fitopatogênicos e minimizar a contaminação do meio ambiente. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da velocidade do ar junto à barra de pulverização na distribuição e qualidade da pulverização e sua relação com a deriva de produtos fitossanitários sob diferentes índices de área foliar (IAF) da cultura da soja. Para as avaliações da pulverização um experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso com 4 tratamentos: 0, 10, 20 e 30 km.h⁻¹ do fluxo de ar assistido junto à barra em 5 repetições. As pulverizações foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) da cultura, com IAFs de 2.56, 6.67 e 4.64 m².m⁻² respectivamente. Um pulverizador com disponibilidade ou não de ar assistido junto à barra, equipado com pontas de pulverização de jato plano, modelo AXI 11003, espaçadas de 0,5 m, e regulado para pulverizar 200 L.ha⁻¹ de calda foi utilizado nos ensaios experimentais. Antes da pulverização foram selecionadas, ao acaso, dez plantas em cada parcela para amostragem dos depósitos da pulverização. Alvos artificiais, papel filtro nas dimensões 3 x 3 cm foram fixados às plantas, dois na parte superior e outros dois na parte inferior, em ambas superfícies dos folíolos (adaxial e abaxial). Para avaliação de cobertura de pulverização e perda para o solo foram colocados papéis hidrossensíveis, um na parte superior e outro na parte inferior das plantas, bem como três alvos artificiais no solo em cada parcela para determinar a quantidade de produto não interceptada pelas plantas. Para as avaliações de depósito e perdas da pulverização um marcador cúprico foi usado e sua quantificação feita por espectrofotometria de absorção atômica. As avaliações qualitativas da cobertura foram determinadas pelo software GOTAS®. Aos 30 DAE, com IAF de 2.56 m².m⁻², a velocidade máxima de ar proporcionou maior depósito e cobertura da pulverização na parte inferior das plantas e melhor uniformidade na parte superior, entretanto houve incremento das perdas para o solo. Aos 60 DAE, com IAF de 6.67 m².m⁻², não houve diferença entre os tratamentos quanto à cobertura e perdas de pulverização para o solo. No entanto, a assistência de ar, independente da velocidade, melhorou a cobertura da pulverização. Já aos 90 DAE, com IAF de 4.64 m².m⁻², a assistência de ar em 30 km.h⁻¹ incrementou os níveis de depósitos da calda na parte inferior da planta e na superfície adaxial dos folíolos, além de proporcionar maior cobertura em todas

as partes do dossel da cultura. Também aos 90 DAE, quanto maior a velocidade do ar, menos foram as perdas para o solo.

Palavras-chave: Tecnologia de aplicação; assistência de ar; deriva; índice de área foliar (IAF).

ABSTRACT

Homogeneity in spray distribution into crop canopy can improve efficiency control of phytopathogenic agents and minimize the environment contamination. Therefore, the objective of this work is to evaluate velocity effect on an air-assisted boom spraying on spray quality and distribution and its relation with phytosanitary products drift under different leaf area indexes (LAI) of the soybean crop. For spray evaluations, an experiment was conducted in a randomized block design with 4 treatments: 0, 10, 20 and 30 km.h⁻¹ of the airflow in 5 replications. It was sprayed at 30, 60 and 90 days after emergence (DAE) of the culture, also establishing LAI in the respective application period. A sprayer with or without air assistance, equipped with flat fan nozzles AXI 11003 model, spaced 0,5 m, and 200L.ha⁻¹ volume rate was used in this experiment. During the spraying, ten plants were randomly selected in each plot to sample the spray deposits. Artificial targets, 3 x 3 cm dimensions, were fixed to the plants, two on the upper part and two on the lower part, on both leaflet surfaces (adaxial and abaxial). To evaluate spray coverage and soil loss, hydrosensible papers were placed, one at the top and one at the bottom of the plants, as well as three artificial targets in the soil in each plot to determine the amount of product not intercepted by the plants. For the deposition and spray loss evaluations a cupric marker was used and its quantification made by atomic absorption spectrophotometry. GOTAS® software to determine the qualitative evaluations of coverage percentage. At 30 DAE, with initial soybean development, the maximum air velocity provided greater deposit and spray coverage in the lower part of the plants and better uniformity in the upper part, however, there was an increase in soil losses. At 60 DAE, with maximum leaf density, there was no difference between the treatments in terms of coverage and spray losses to the soil. However, air assistance, regardless of speed, has improved spray coverage. At 90 DAE, air assistance at its maximum capacity increased spray deposit levels at the bottom of the plant and its adaxial surface of the leaflets, in addition to providing greater coverage in all parts of the canopy crop. Also at 90 DAE, the higher air velocity, the less is soil losses. In absolute values relating to spraying moment, the higher the LAI the lower is the soil losses.

Keywords: Application technology; air assistance; drift; leaf área index (LAI).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 A cultura da soja	17
2.2 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários	18
2.3 Assistência de ar na barra de pulverização	20
2.3.1 Influência da barra de pulverização assistida com ar na deposição da pulverização	21
2.3.2 Influência da barra de pulverização assistida com ar na redução de deriva	24
2.3.3 Velocidade do fluxo de ar na barra de pulverização	26
2.3.4 Índice de área foliar (IAF)	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Local e instalação do experimento	29
3.2 Controle de agentes nocivos	30
3.3 Avaliação quantitativa e qualitativa da pulverização	31
3.3.1 Análise quantitativa da pulverização	32
3.3.2 Análise qualitativa da pulverização	34
3.4 Amostragem de Índice de área foliar (IAF)	35
3.5 Análise de valores absolutos para depósito de calda no solo.....	35
3.6 Análise estatística dos dados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Desenvolvimento da cultura da soja	37
4.2 Análise quantitativa de pulverização.....	38
4.2.1 Deposição da pulverização em estádio V6	38
4.2.2 Deposição da pulverização em estádio R2	40
4.2.3 Deposição da pulverização em estádio R5.5	41

4.3 Análise qualitativa de pulverização	43
4.4 Perdas da pulverização para o solo	45
4.5 Valores absolutos de perdas para o solo	47
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Produzir alimentos em quantidade e de qualidade para uma população mundial que cresce exponencialmente tem sido um grande desafio. No Brasil, as perdas durante a produção e na pós-colheita das culturas agrícolas têm alcançado níveis preocupantes. Dentre os fatores responsáveis pelas perdas na produção de alimentos merece destaque a incidência de pragas, doenças e plantas daninhas, agentes nocivos que competem com as culturas prejudicando a produção de alimentos.

A fim de superar tais desafios com o manejo desses agentes nocivos às plantas de forma integrada e sustentável, uma das ferramentas é a melhoria da tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários. De caráter multidisciplinar preconiza o conjunto de conhecimentos necessários para colocar um produto biologicamente ativo sobre o alvo na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação ao ambiente (MATUO, 1990).

Um dos métodos de aplicação mais empregados para proteção de cultivos no mundo é a pulverização de produtos fitossanitários. Para tanto, a aplicação terrestre com pulverizadores hidráulicos merece destaque pela possibilidade destes equipamentos serem usados em diversas culturas, em pulverização de inseticidas, fungicidas, herbicidas, produtos biológicos, maturadores ou dessecantes.

Outrora, a aplicação eficaz de produtos fitossanitários começa na seleção de um equipamento adequado ao seu objetivo, além de estar corretamente calibrado e adequado às condições do ambiente e fenológicas da cultura para proporcionar uma aplicação segura do ponto de vista ambiental e ocupacional, com a máxima capacidade operacional e maior rendimento agrônomo aliado ao menor custo.

Dependendo do estágio fenológico e arquitetura da cultura, a pulverização terrestre pode ocasionar a redução do número de plantas na lavoura e da área fotossintética devido ao amassamento da cultura e, portanto, reduzindo enfim a produtividade. Além disso, as características dessas pulverizações, face à realidade de vários produtores, se mantêm iguais ou semelhantes, independente do estágio de desenvolvimento da cultura, portanto, acarretando perdas do produto químico para o ambiente, além de não serem capazes de atingirem o alvo de pulverização. Porém, tecnologias mais avançadas como a transferência de carga elétrica às gotas e as barras assistidas por ar resultam em melhor resposta na colocação do produto

fitossanitário no alvo biológico, minimizando os efeitos negativos que poderiam ocorrer em pulverizações convencionais (não assistidas por ar e ou sem carga às gotas).

A assistência de ar em barra de pulverização pode melhorar a penetração e distribuição de gotas no interior do dossel das culturas, especialmente naquelas com grande porte e elevada densidade foliar, em contrapartida, quando pulverizações assistidas por ar são realizadas sobre plantas em estádios iniciais de desenvolvimento e, principalmente em solo descoberto, estes efeitos passam a ser negativos ao passo que a calda pulverizada não é interceptada e o fluxo de ar por deflexão na superfície do solo se encarrega de disseminar a pulverização no meio ambiente. No entanto, não é estabelecido um limite que demonstre segurança e viabilidade do uso de assistência de ar para que a pulverização seja feita, com menores perdas para o ambiente aliado à uma pulverização de qualidade.

Nesse sentido, o trabalho tem por objetivo avaliar quali-quantitativamente as pulverizações, bem como a capacidade de redução de deriva em barra assistida por ar, sob diferentes velocidades do fluxo de ar, e índices de área foliar (IAF) da cultura da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da soja

A planta de soja é originária da costa leste da Ásia, na China (CHUNG; SINGH, 2008), e é classificada como pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* (L.) Merrill. É uma planta de ciclo anual, com arquitetura herbácea, ereta e de flores autógamas. Seu comprimento pode variar de 0,2 a 1,5 metros, e seu desenvolvimento completo pode levar até 75 dias, para as cultivares mais precoces e super precoces, até 200 dias, para as tardias (ARANTES; SOUZA, 1993).

A soja é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo. A sua semente possui alto teor de proteínas que abre um grande leque de opções para a utilização dos seus grãos como: farelo de soja, óleo (cozinha ou combustível), farinha de soja sob forma de proteína isolada, os quais possuem funções comestíveis, industriais e de energia (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

No início do século XX, somente a China era responsável por cerca de 71,5% da produção mundial dessa cultura. Já por volta dos anos 30, os EUA passaram a dominar o seu cultivo e se tornaram os maiores produtores e, em 1956, assumiram também a liderança na exportação desta oleaginosa (MANICA; COSTA, 1996).

No Brasil, essa oleaginosa foi introduzida primeiramente no estado da Bahia, em 1882, e posteriormente difundida para outros estados, como São Paulo, onde surgiram os primeiros resultados científicos conduzidos no Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (BLACK, 2000). Então, por volta de 1935, a soja foi levada ao Estado do Rio Grande do Sul onde se deu início à sua produção em escala comercial (BONETTI, 1981). Uma maior expansão pelo país teve início a partir da década de 70, onde em 1974 a produção nacional já era maior que a da China, tornando-se o segundo maior produtor de soja do mundo, atrás somente dos EUA (SEDIYAMA, 2009).

A soja é uma das *commodities* de maior importância econômica no Brasil (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2009). Atualmente, segundo estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, a cultura da soja é responsável por mais de 58,44% da área cultivada em grãos no país e espera-se produzir na safra 2016/17

cerca de 113,01 milhões de toneladas, representando um crescimento de 18,4% na produção, com mais da metade de toda a produção destinada à exportação (CONAB, 2017). Ademais, ela é uma das responsáveis pelo aumento do PIB da agropecuária, que cresceu 13,4% no primeiro trimestre de 2017, considerado o maior incremento em mais de 20 anos.

O incremento na produtividade da cultura da soja nos últimos tempos pode ser atribuído ao uso de tecnologia e inovações no manejo, como por exemplo: biotecnologia, o sistema de plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio e o controle fitossanitário, os quais conferiram mais sustentabilidade à cadeia e ao crescente aumento na produção (GAZZONI, 2013). Contudo, os produtos fitossanitários têm seu uso constantemente questionado por vários segmentos da sociedade, em virtude de seu potencial risco ao ambiente (LEAO; VASCONCELLOS, 2015), mesmo desempenhando papel fundamental dentro da cadeia de produção da soja. A exigência do consumidor pelo uso correto e criterioso dos produtos fitossanitários, muitas vezes depara no campo com a falta de informação relacionada à toxicologia e tecnologia de aplicação, principalmente.

2.2 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários

As aplicações de produtos fitossanitários podem ser, muitas vezes, eficazes, porém não eficientes, principalmente devido ao descaso na regulagem e calibração, além de não utilizar a melhor técnica de pulverização de acordo com características da cultura. Isso resulta em baixa eficiência operacional, com maiores quantidades de ingredientes ativos na obtenção da mesma eficiência de controle e por fim perdas econômicas e elevados impactos ambientais. Sendo assim, o emprego correto de tais produtos se mostra fundamental para um manejo de sucesso da cultura, sendo a tecnologia de aplicação a premissa desse objetivo.

Na aplicação de líquidos, sob forma de pulverização para controle de pragas, doenças e plantas daninhas, não é suficiente conhecer apenas aspectos relacionados ao alvo biológico (biologia, comportamento ou estágio de desenvolvimento), mas também garantir ao processo de aplicação de produtos fitossanitários eficiência, economia e segurança. Segundo Matuo (1990), entende-se por tecnologia de aplicação dos produtos fitossanitários o conjunto de conhecimentos que proporcionem

a correta colocação do ingrediente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação em outras áreas.

Um dos fatores determinantes em uma pulverização é o volume de calda. Matthews (1992) relata que o volume a ser aplicado em uma pulverização é determinado pela característica do produto, situação da cultura e sanidade vegetal. Sendo assim, delimita-se um alvo no qual o produto deverá ser depositado e que proporcione seu efeito máximo, e podendo ser atingido de forma direta ou indireta (MATUO et al. 2010). Ademais, o tipo de alvo, o modo/mecanismo de ação dos produtos fitossanitários e suas recomendações agronômicas também devem ser sempre observados (ANTUNIASSI, 2009).

A quantidade a ser aplicada é estabelecida por Courshee (1967) baseando-se na cobertura foliar por um volume líquido, e expressa pela Equação 1 (E1):

$$C = 15 (VRK^2 \div AD) \quad (E1)$$

Onde:

C = cobertura (%);

V = volume de aplicação (L/ha);

R = taxa de recuperação (% de volume aplicado, captado pelo alvo);

K = fator de espalhamento das gotas;

A = superfície vegetal existente no hectare;

D = diâmetro das gotas (μm).

Portanto, em função do crescimento da planta, e conseqüentemente seu índice de enfolhamento, alguns ajustes devem ser feitos, principalmente no volume de aplicação (MATUO, 1990). No entanto, inúmeras vezes a quantidade de produto colocado nos tratamentos fitossanitários é inferior ou superior à quantidade realmente necessária para atingir a eficiência esperada, seja por ausência de informação, omissão de tecnologia ou por desleixo (RAETANO, 2011a).

O uso de assistência de ar em barra de pulverização melhora a penetração e distribuição das gotas no dossel, principalmente se a cultura em questão apresentar elevados índices de área foliar (KOCH, 1997), em contrapartida, esses efeitos não são observados quando pulverizações assistidas por ar são realizadas em solo nu ou sobre plantas em estádios iniciais de desenvolvimento (MATTHEWS, 2000; TSAY; LIANG; LU, 2004). No entanto, não é estabelecido por fabricantes, especialistas e

extensionistas um fator que determina a segurança e viabilidade do uso de assistência de ar para que a pulverização com essa tecnologia seja feita, acarretando menor impacto ambiental e ainda com o efeito agronômico esperado.

2.3 Assistência de ar na barra de pulverização

O uso da assistência de ar nos pulverizadores é bastante antigo, com relatos da difusão dessa tecnologia a partir da década de 80 (ROBINSON, 1993) com início em Israel, e logo após difundida no resto do mundo, como na Alemanha e no Brasil. Esta tecnologia, junto à barra de pulverização, foi reportada pela indústria brasileira durante a década de 90. A utilização da assistência de ar nos pulverizadores surgiu como ferramenta para aprimorar a qualidade da aplicação, melhorar a distribuição e penetração da calda nos respectivos alvos, visando manter o potencial produtivo da cultura, reduzindo a deriva e a quantidade dos produtos químicos (QUANQUIN et al., 1989; SARTORI, 1997; RAETANO; MERLIN, 2006; CHRISTOVAM et al., 2010).

Comumente usado para tratar culturas arbóreas, o uso e evolução desta técnica em culturas anuais e em pulverizadores de barra, apesar de muitos anos de mercado, se demonstra um pouco aquém do imaginado, mesmo com inúmeros benefícios comprovados, o que contrasta com seu uso em culturas perenes e arbóreas, através dos pulverizadores de jato transportado, que já está amplamente consolidado em todo o mundo. No entanto já é adotado em muitos outros tipos de culturas (MATTHEWS, 2014).

Os pulverizadores com assistência de ar junto à barra de pulverização possuem ventiladores, posicionados próximos à seção central da barra de pulverização, que distribuem um grande volume de ar em uma manga de lona inflada montada acima da barra e bicos. O ar gerado por estes ventiladores muda de direção para ser distribuído por esses ductos inflados, no entanto, a distância entre o ventilador e a extremidade da barra força a diminuição gradual da seção para compensar a perda de velocidade do ar durante esse percurso (RAETANO, 2011b).

O fluxo de ar força a penetração da calda fitossanitária no interior do dossel da cultura, melhorando a distribuição do líquido por toda a planta (MATTHEWS, 2000). Assim, a assistência de ar junto à barra de pulverização constitui uma importante ferramenta no controle de insetos-praga (PRADO et al., 2010a; PRADO et al., 2010b; GIMENES et al., 2012), doenças (CHRISTOVAM et al., 2010) e plantas daninhas

(MAY, 1991) portanto capaz de aumentar a produtividade da cultura (PRADO, 2009). Porém, o uso desta tecnologia é dependente da cultura em questão, do estágio de desenvolvimento e arquitetura, cultivar, nível de infestação da doença, índice de área foliar e cobertura de pulverização desejada. Outro fator importante da assistência de ar é a capacidade em permitir a redução de volume de calda aplicado sem prejudicar o objetivo agrônomo (PICHÉ et al., 2000).

A velocidade do ar gerado pelos ventiladores pode variar com a sua rotação e geralmente não é diretamente proporcional ao nível estabelecido no controlado de velocidade. Além disso, ao longo da barra de pulverização também pode ocorrer variações na intensidade do ar nas extremidades em relação à obtida na seção central da barra. O volume de ar gerado pode chegar à 2000 m³/hora/barra, dependendo da quantidade e potência do ventilador bem como o tamanho das barras, as quais podem atingir mais de 24 m de comprimento (RAETANO, 2011b).

As configurações para o uso desta ferramenta em pulverizações devem levar em conta a velocidade e volume de ar e deve estar relacionada ao estágio de desenvolvimento da cultura, pois, quanto maior for a densidade foliar menores são as perdas das gotas pela deflexão do ar. Já para pulverizações em solo nu ou parcialmente coberto por massa vegetal não se recomenda o uso dessa tecnologia por aumentar a deriva devido a este processo físico (RAETANO, 2011b).

Em suma, os benefícios observados pelo uso de assistência de ar em pulverizadores de barra compreendem: redução da deriva, maior penetração e uniformidade na distribuição da pulverização, menor dependência do vento ambiente e aumento nos níveis dos depósitos, principalmente na superfície abaxial das folhas posicionadas próximas ao solo. Portanto, à medida em que otimiza a eficácia de controle se reduz a contaminação ambiental.

2.3.1 Influência da barra de pulverização assistida com ar na deposição da pulverização

O aumento dos depósitos da pulverização, especialmente na superfície abaxial de folhas posicionadas na parte inferior das plantas, tem contribuído para a melhoria na eficiência de controle de pragas agrícolas, como por exemplo a mosca branca (*Bemisia tabaci*) em feijoeiro. Outra vantagem observada é a maior penetração e

maiores depósitos na parte média das plantas, quando presente a assistência de ar junto à barra de pulverização (RAETANO, 2011b).

Nesse sentido Cooke et al. (1990), em experimento a campo, comparando um pulverizador convencional com um equipamento assistido por ar com aplicações em diversas culturas relatam que na cultura da cevada, 31 dias após o plantio, foram encontrados maiores depósitos provenientes do equipamento com ar assistido sobre alvos verticais, mas em alvos horizontais esse equipamento conseguiu níveis bem menores que o convencional. Já aos 48 dias após o plantio, com uma quantidade de cobertura vegetal maior, o padrão de distribuição mudou, com o equipamento com assistência de ar obtendo maiores depósitos nos caules e nas folhas superiores decrescendo nas folhas mais baixas, aplicando-se o mesmo volume de calda.

Viganó e Raetano (2007) também encontraram maiores níveis de depósitos em alvos verticais, no caso em arroz vermelho, quando se utilizou assistência de ar na barra de pulverização. O intuito era a avaliação de dessecação desta cultura, portanto, um maior nível de depósito era fundamental para traduzir em melhor eficácia. Sendo assim, esse incremento de deposição foi capaz, ainda, de permitir a redução de volume de calda de 300 L.ha⁻¹ para 100 L.ha⁻¹.

Scudeler e Raetano (2006) constataram que a presença da assistência de ar promoveu os maiores depósitos da pulverização na superfície abaxial de folíolos de batata cv. Ágata quando comparado à pulverização convencional. Semelhante à Ade e Rondelli (2007), que também observaram na cultura da batata incremento de 18% na deposição com o uso desta tecnologia em lavoura com alta densidade foliar.

Em estudo realizado na cultura do algodão foi constatado que a pulverização com assistência de ar na barra foi fator determinante para uma maior cobertura do alvo pelas gotas, especialmente nos alvos mais difíceis como as posições mediana e inferior da planta e as superfícies inferiores das folhas. Como resultado, o uso dessa tecnologia com volume de calda 100 L.ha⁻¹ reduziu os danos causados por insetos-praga (Lagartas e Bicudo) às maçãs do algodoeiro (MIRANDA; BETTINI; SILVA JUNIOR, 2011).

Além de direcionar o fluxo da calda de pulverização para o interior do dossel, minimizando perdas por deriva (COOKE et al., 1990; BAUER; RAETANO, 2000), a assistência de ar na barra contribui para melhor distribuição e a deposição do produto na superfície abaxial das folhas localizadas no baixeiro da cultura (LEONARD et al., 2000; PANNETON et al., 2000; VENEGAS; RAETANO; BAUER, 2003), fundamental

no controle de alguns patógenos localizados nestas regiões, como a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), um dos principais problemas desta cultura.

Melhoria sobre os níveis dos depósitos bem como na qualidade da pulverização pode ser alcançada pelo posicionamento das pontas de pulverização em relação à passagem do ar provida pelo equipamento (vertical e descendente) e ainda pelo ajuste da angulação dos bicos e cortina de ar em relação à vertical. Os pulverizadores com assistência de ar na barra possibilitam mudanças da angulação das pontas e ductos de ar, em relação à vertical, com amplitude para posicioná-los no sentido de deslocamento do pulverizador ou contrário ao mesmo. Estes ajustes nos equipamentos são realizados simultaneamente em peça cilíndrica, podendo ser girada nos sentidos horário ou anti-horário (RAETANO, 2004).

O intuito de alterar a angulação do ar a favor do deslocamento, principalmente, aliado ao uso de gotas finas pode elevar a deposição em alvos verticais (monocotiledôneas) principalmente. Além disso, trabalhos realizados na cultura da batata demonstraram uma penetração e retenção da pulverização na parte inferior da planta com o uso da assistência de ar posicionada em angulação no sentido do deslocamento. No entanto, na parte superior dessa cultura, ângulo de saída do ar tanto a favor como ao contrário ao deslocamento do equipamento não alterou o volume de calda retido nesta posição. (TAYLOR; ANDERSEN, 1997).

Scudeler e Raetano (2006) também avaliaram a interferência da angulação da barra de pulverização, em presença ou não da assistência de ar junto à barra, na cultura da batata. Os níveis dos depósitos foram analisados a partir da pulverização de um marcador cúprico (840 g de i.a. kg^{-1} equivalente a 500 g kg^{-1} de cobre metálico) na dosagem de 200 g de p.c. 100 L^{-1} d'água. O estudo foi feito aos 58 dias após o plantio analisando a presença ou não da assistência de ar e combinando angulações de cortina de ar, sendo $+30^\circ$ (a favor do deslocamento), 0° (vertical descendente) e -30° (contrário ao deslocamento) com volume de calda de 400 L ha^{-1} . Os autores constataram maiores depósitos nos folíolos com pontas posicionadas a 0° e $+30^\circ$, em aplicações assistidas por ar, tanto na parte superior quanto na inferior da planta, na superfície adaxial e abaxial. Ainda, a presença do ar, além de elevar os depósitos nas partes inferiores das plantas, ela proporcionou maior uniformidade na distribuição dos depósitos na planta.

Em barras de pulverização assistidas por ar, o posicionamento dos bicos e ducto de ar contrário ao deslocamento do conjunto trator-pulverizador pode incrementar os níveis de deriva (KUNZ, 2010).

2.3.2 Influência da barra de pulverização assistida com ar na redução de deriva

Uma aplicação eficiente é aquela que usa a quantia necessária de produto depositada no alvo com mínima contaminação de áreas vizinhas e perda para o solo. Himel (1969) classificou os termos “endoderiva” e “exoderiva”; o primeiro como a quantidade de produto aplicado que não intercepta o alvo biológico e se deposita no solo, seja pela passagem direta do líquido pulverizado ou ricocheteio/escorrimento deste líquido, geralmente nas aplicações com volumes altos de calda. A “exoderiva”, portanto, é a perda da pulverização para outra área que não deveria ser tratada, seja pela ação do vento ou volatilização de produto fitossanitário (BAESSO et al., 2014a).

A deriva durante aplicação de um produto químico é inevitável, pois as gotas formadas neste processo podem passar pela folhagem e atingir o solo, principalmente nas entrelinhas. As gotas da pulverização podem ultrapassar a capacidade de retenção da folha, não sendo mais retidas por ela e escorrem para o solo. Essa endoderiva está estritamente ligada às aplicações de que usam volumes altos de calda, ou pelo uso de pontas que formam gotas grossas. Ademais, têm efeito negativo na biota do solo, principalmente com o uso de produtos de ação residual prolongada e não seletivos para algumas culturas (herbicidas), como também para insetos e fungos benéficos e outras formas de vida (inseticidas e fungicidas).

Por outro lado, a ação dos ventos é o fator mais crítico de todas as condições meteorológicas que afetam a deriva, pois quanto maior a velocidade de vento, maior a influência e a suscetibilidade das gotas serem carregadas por ele. A direção do vento também é um fator a ser observado e é tão importante quanto a velocidade na redução do dano causado pela deriva, pois, quando direcionada para culturas sensíveis podem causar graves problemas, portanto é imprescindível estar alerta às mudanças na direção de vento durante aplicação.

Nas pulverizações, os desperdícios de produtos fitossanitários podem ultrapassar 70% do total do produto aplicado (CHAIM et al., 1999a, 1999b, 2000) em determinadas condições, mas outros autores estimam perdas em média entre 30% e 50% (BUISMAN et al., 1989; PERGHER; ZUCCHIATTI; GUBIANI, 1999), apesar de

em alguns casos a deposição nas plantas tem sido superior a 64% do total aplicado (PERGHER; GUBIANI, 1995).

O uso de assistência de ar na barra de pulverização pode contribuir na redução de perdas da pulverização de produtos fitossanitários por deriva. Tal efeito pode ser observado principalmente com gotas finas, que estão muito suscetíveis à deriva. No entanto, estas gotas representam maiores depósitos em todos os tipos de superfícies foliares, principalmente em monocotiledôneas (MATTHEWS, 2014). Sendo assim, essa tecnologia é capaz de utilizar gotas mais finas com maior efetividade, aumentando os depósitos sobre as plantas e reduzindo a probabilidade de deriva, com baixa perda para o solo (QUANQUIN et al., 1989; NORDBO; TAYLOR, 1991; HISLOP; WESTERN, 1993).

Em contrapartida ao obtido com gotas finas, as gotas grossas proporcionam depósitos significativamente menores em monocotiledôneas, pois possuem característica de apresentarem folhas e alvos na vertical, diminuindo a capacidade delas se depositarem neste tipo de superfície, e ainda, especialmente nos estádios iniciais de desenvolvimento, pode proporcionar o aumento da contaminação para o solo visto o aumento no seu tamanho (JORGENSEN; WITT, 2000).

Cooke et al. (1990), comparando um pulverizador convencional com um equipamento munido de assistência de ar relatam que na cultura da cevada (31 dias após o plantio) onde o volume de aplicação foi de 100 L.ha⁻¹, a deriva foi maior com o equipamento dotado de assistência de ar. Contudo, aos 48 dias após o plantio da cevada, com uma quantidade foliar maior, o mesmo volume e 100 L.ha⁻¹ a perda de calda para o solo foi de 11% com o equipamento convencional e 4% com o equipamento assistido por ar, pois essa diferença acabou sendo retida pela planta.

Esses mesmos autores concluíram que a assistência de ar pode tanto aumentar como diminuir a deriva, se comparado ao equipamento convencional. Essa interferência vai depender de vários fatores, dentre eles: estágio fenológico das plantas, índice de área foliar e do tipo, variedade e arquitetura de cultura aplicada, das regulagens e calibração do equipamento (inclusive a velocidade do ar na barra de pulverização) e do tipo das pontas de pulverização. Também afirmam que a assistência de ar pode diminuir sensivelmente a quantidade e dose aplicada dos produtos fitossanitários.

O uso da assistência de ar e da angulação da barra aumentaram a penetração da pulverização na cultura do trigo e diminuíram as perdas para o solo em até 60%

(ANDERSEN; JORGENSEN; TAYLOR, 2000). Entretanto, Bauer e Raetano (2000) avaliando perdas da pulverização na cultura da soja utilizando equipamentos assistido ou não por ar, não constatarem diferenças significativas no volume de calda capturado por coletores artificiais distribuídos nas entrelinhas da cultura após aplicação pelos respectivos equipamentos, com um volume de aplicação de 100 L.ha^{-1} .

A deposição e perdas da calda de pulverização na cultura do feijoeiro, aos 26 dias após a emergência, utilizando-se de pulverizadores assistidos por ar junto à barra e convencional (sem ar) e volumes de 60 e 100 L ha^{-1} foram avaliados por Raetano e Bauer (2004). Os autores constatarem perdas elevadas para o solo (mais de 60%) mesmo com o uso da assistência de ar. Em parte, tais resultados foram atribuídos a 40% do solo descoberto pela vegetação nesse estágio de desenvolvimento da cultura.

Scudeler e Raetano (2006) observaram na cultura da batata (cultivar Ágata) que, na presença da assistência de ar junto à barra pulverização, as perdas de produto fitossanitário para o solo, aos 58 dias após o plantio desta cultura, foram inferiores a 4%, para o volume de 400 L.ha^{-1} . O mesmo resultado também observado por Ade e Rondelli (2007), ao verificarem que a assistência de ar, na cultura da batata com alta densidade foliar, reduziu as perdas para o solo na ordem de 37% quando comparado com a pulverização convencional, e quando a cultura estava com baixa densidade foliar, essas perdas para o solo não foram diferentes entre os métodos de pulverização.

Outros estudos confirmam redução em aproximadamente 40% de perdas para o solo, aplicado em cereais na Europa, quando se adotou metade de volume/velocidade do ar gerado pelo ventilador em pulverizador munido de assistência de ar na barra, quando comparado à pulverização sem o uso desta tecnologia (TAYLOR; ANDERSEN, 1997). E, como há um limite aceitável para deriva na Europa, estes autores constatarem os benefícios da assistência de ar sobre a redução no percentual de deriva em várias culturas, incluindo cevada (90%), feijão (84%), ervilha (83%), couve de Bruxelas (76%), alface (68%) e alho-poró (61%) em relação a aplicação convencional (sem ar), ambos utilizando gotas finas.

2.3.3 Velocidade do fluxo de ar na barra de pulverização

Observa-se a ausência de informações sobre de interação entre volume, velocidade de ar e momento mais adequado para pulverização em várias espécies

agrícolas. Em paralelo, a imprecisão na obtenção da velocidade correta do fluxo de ar visto às características da tecnologia dificulta a padronização deste processo, impedindo alinhar os resultados obtidos pelo mundo. Sendo assim, Kunz (2010) propôs o “método do fio de nylon”, com intuito de padronizar as medições da velocidade do ar, possibilitando, portanto, uniformizar os resultados através desta metodologia.

Resultados obtidos por Lockley (1993) mostraram que em um primeiro experimento na cultura do trigo não foram observadas diferenças significativas entre aplicações com assistência de ar junto à barra de pulverização e a pulverização convencional (sem ar). Num segundo experimento, realizado no ano seguinte e na mesma cultura, verificou que a maior velocidade do ar assistido obteve melhor controle de doenças pela aplicação de fungicida (propiconazole). Sendo assim, foi concluído que a assistência de ar teve pouco efeito no controle de *Septoria tritici* na cultura do trigo, mas que o aumento da velocidade do ar assistido otimizou a eficácia de controle comparado com ar em baixa velocidade, sem, no entanto, relatar os valores dessa velocidade do ar referindo-se somente à velocidade máxima e mínima do ar na barra de pulverização.

May (1991), estudando a aplicação de herbicida para controle de plantas daninhas na cultura da beterraba confirma que o uso da assistência de ar reduziu pela metade a deriva de herbicida para o solo quando comparada a aplicação sem assistência de ar e que o uso dessa tecnologia melhorou em 30% a deposição nas plantas daninhas entre a cultura. Quando a velocidade do ar foi à máxima potência aumentou a deposição na superfície abaxial das folhas das plantas daninhas.

Em contrapartida, Raetano e Bauer (2003), analisando a variação da velocidade de ar assistido na barra de pulverização em feijoeiro, não constataram diferenças significativas entre os valores de depósitos do marcador nos folíolos desta cultura. Entretanto, a assistência de ar na capacidade máxima do equipamento (100%) proporcionou acréscimo em mais de 63% na deposição de calda nos folíolos inferiores e superfície abaxial (chegando à 110% variando as pontas de pulverização) quando comparada ao tratamento sem assistência de ar.

2.3.4 Índice de área foliar (IAF)

O produtor rural ainda comete erros na hora de aplicar os produtos fitossanitários, como exemplo, a aplicação tardia, que reduz a eficiência do produto e gera perdas na lavoura, ou então o uso de volume alto de calda em lavouras no estágio de desenvolvimento inicial. Para ajudar a mudar essa realidade, o produtor pode dimensionar suas pulverizações de acordo com o Índice de Área Foliar (IAF).

O IAF trata-se de uma recomendação científica que é endossada por pesquisadores e empresas do setor. Este índice é um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como medida de crescimento das plantas nos modelos agrônômicos e foi definido pela primeira vez como a área total de tecido fotossintético por unidade de área da superfície do solo (WATSON, 1947).

Para plantas com folhas planas, esta definição é utilizável porque ambos os lados de uma folha têm a mesma área de superfície. No entanto, se os elementos folhagem não são planos, mas enrugados, dobrados ou enrolados, ou até mesmo plantas coníferas, a área unilateral não está claramente definida (CHEN; BLACK, 1992).

Lang (1991), Chen e Black (1992) e Myneni et al. (1997) propuseram outras definições e técnicas de medição, no entanto proposta por Watson (1947) ainda é a mais aceita na literatura. Ademais, outros métodos vêm sendo desenvolvidos (SOUDANI, 2006; SILVA JUNIOR et al., 2017), com análise rápida através de sensoriamento remoto para facilitar adequações pontuais e necessárias, como em pulverizações, de acordo com a densidade foliar presente na área.

O IAF de uma cultura depende de composição de espécies, fase de desenvolvimento, e sazonalidade. Além disso, o IAF é fortemente dependente das condições locais existentes e as práticas culturais realizadas. A soma destes fatores, combinados com a diferença de métodos de avaliação, pode, portanto, levar a valores de IAF muito diferentes entre trabalhos, como é demonstrado na literatura.

Sendo assim, em uma pulverização, para não cometer erros durante o processo e ainda assim causar o menor impacto ambiental possível é de grande importância alinhar o desenvolvimento de tecnologias de aplicação que possibilitem maior deposição dos produtos fitossanitários de acordo com a densidade foliar atual, obtendo portanto a melhor eficiência desta ferramenta.

A variedade estudada foi a FTS Campo Mourão, com tecnologia RR (Roundup Ready®), com semeadura na safra agrícola de 2016/17, espaçamento de 0,45 m entre linhas de plantio e conduzida no sistema de semeadura direta pela semeadora-adubadora da marca comercial Semeato® modelo SHM 15/17. A adubação foi realizada no momento da semeadura com 250 kg.ha⁻¹ do formulado comercial 04-20-20 (N-P-K) para todos os tratamentos, em função da análise química do solo. A população de plantas de soja foi mantida em 200 mil plantas por hectare.

As sementes foram previamente submetidas ao tratamento químico com fungicidas carboxina e tiran (Vitavax-Thiran® 200 SC), inseticida tiametoxam (Cruizer 350 FS®), com o intuito de evitar a ação de patógenos e insetos-pragas nas primeiras fases de desenvolvimento, nas doses de 250 e 150 mL de produto comercial por 100 kg de sementes, além do uso do inoculante *Bradyrhizobium* sp. (Biomax®), 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes (ANDREI, 2013). Todos tratados *on farm* no dia da semeadura com auxílio de uma máquina de tratamento de sementes da marca comercial Mecmaq®.

3.2 Controle de agentes nocivos

Após a semeadura da soja foi realizada uma pulverização com o herbicida glifosato (Roundup WG®), também na dosagem de 1,5 kg ha⁻¹, aos 22 dias após a emergência (ANDREI, 2013), no estágio vegetativo V3 (FEHR; CAVINESS, 1977).

O controle de insetos-praga e doenças foi realizado mediante necessidade, através de monitoramento pelo método de pano de batida para insetos-praga (CORRÊA-FERREIRA, 2012) e preventivamente segundo avanço de doenças em ensaios vizinhos, e ambos representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de produtos fitossanitários aplicados durante o ciclo da cultura para manutenção da fitossanidade da área na cultura da soja. Botucatu/SP, 2017.

Controle	Produto Comercial*	Ingrediente(s) ativo(s)	Dose (kg ou L/ha)	Data	Estádio fenológico**
<i>Chrysodeixis includens</i>	Prêmio®	Clorantraniliprole 200 g/L	0,04	06/01/17	V6
<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Fox®	Trifloxistrobina 150 g/L + Protiocanazol 175 g/L	0,4	23/01/17	V10
<i>C. includens/A. anticarsia gemmatilis</i>	Dimilin®	Diflubenzurom 250g/kg	0,14	23/01/17	V10
<i>C. includens/A. gemmatilis</i>	Prêmio®	Clorantraniliprole 200 g/L	0,04	06/02/17	R2
<i>P. pachyrhizi</i>	Priori Xtra®	Azoxistrobina 200 g/L + Ciproconazol 80 g/L	0,3	23/02/17	R5.3
<i>Euschistus heros</i>	Engeo Pleno®	Tiametoxam 141 g/L + Lambda-cialotrina 106 g/L	0,2	23/02/17	R5.3

* Recomendação segundo Andrei (2013)

** Estádio fenológico segundo Fehr e Caviness (1977).

3.3 Avaliação quantitativa e qualitativa da pulverização

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com 4 tratamentos - aplicação com assistência de ar nas velocidades de 0 (convencional – sem assistência de ar); 10; 20; e 30 km.h⁻¹ – em cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela foi representada por uma área mínima de 140 m² (10 m x 14 m), sendo 14 m a largura (tamanho da barra) e 10 m de comprimento, com aproximadamente 31 linhas de semeadura, totalizando aproximadamente 2800 m² de área útil e 3510 m² de área total, incluindo carregadores.

A metodologia proposta por Kunz (2010) foi utilizada para aferir as medições de velocidade do ar utilizando um fio de “nylon” fixado na saída do ar para indicar o vetor de deslocamento do fluxo de ar. Para tanto, o conjunto trator-pulverizador foi colocado em local ao abrigo do vento para evitar a interferência deste fator nas medições. As barras do pulverizador foram abertas e acionou-se o ventilador do

sistema de assistência de ar, na sua capacidade máxima de rotação, aferindo sua velocidade utilizando um termo-anemômetro digital à 0,5 m da saída do ar, que compreende na teoria a distância até o alvo (altura da barra). A velocidade então obtida à capacidade máxima foi de 30 km.h⁻¹, sendo assim determinado à partir da alteração de potência do ventilador as demais velocidades intermediárias (10 e 20 km.h⁻¹).

As avaliações das pulverizações foram realizadas aos 30; 60 e 90 dias após a emergência das plantas (DAE), conforme mostradas na Figura 1. Para tanto, as pulverizações foram realizadas, com pulverizador Falcon Vortex AM 14, com barras de 14 m de comprimento, equipadas com 28 pontas de pulverização de jato plano (AXI 11003) espaçadas a 0,5 metros, operando à pressão correspondente à aplicação de 200 L.ha⁻¹. A altura da barra de pulverização foi mantida em 0,5 metro do topo do dossel da cultura. A velocidade de deslocamento do conjunto trator-pulverizador foi de 4,5 km.h⁻¹. As condições meteorológicas no momento da aplicação foram monitoradas.

3.3.1 Análise quantitativa da pulverização

Para avaliação dos depósitos da pulverização, utilizou-se um marcador cúprico na concentração de 250 g.100 L⁻¹ de um fungicida cúprico na forma de oxiclreto de cobre (RECOP®) com 50% de cobre metálico pulverizado em alvos artificiais de 9 cm² feitos de papel-filtro (3 x 3 cm) em dez plantas por parcela, em direção perpendicular ao deslocamento do conjunto trator-pulverizador.

Em cada uma das plantas amostradas, os alvos artificiais foram fixados, dois na parte superior e outros dois na parte inferior das plantas, um na superfície abaxial e outro na adaxial de um mesmo folíolo, conforme a Figura 1a. O mesmo procedimento foi feito para cada época de desenvolvimento (30, 60 e 90 DAE), correlacionando com o índice de área foliar (IAF). Com o intuito de avaliar as perdas da pulverização para o solo, placas de Petri de 8,5 cm de diâmetro, com papel-filtro em seu interior, foram alocadas na superfície do solo, três em cada parcela, entre as linhas da cultura como demonstra a Figura 1b.

Figura 1 - (a) Alvos artificiais (papel filtro) fixados nos folíolos de soja (adaxial/abaxial e superior/inferior); (b) coletor placa de Petri na entrelinha da lavoura. Botucatu/SP, 2017.



Após a pulverização, os alvos artificiais foram removidos e colocados em frascos de vidro, âmbar devidamente identificados, contendo 20 mL de solução extratora do elemento Cobre (Cu), composta por ácido nítrico na concentração de $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$. Estes frascos foram colocados em agitação constante de 220 rpm durante 30 minutos com auxílio de uma mesa agitadora de bancada com plataforma de movimento orbital para uso universal em laboratório Modelo Solab SL-180/A.

Após a agitação, os frascos ficaram em repouso por 24 horas para a completa remoção do íon Cobre do papel filtro pela solução. Em seguida, os alvos artificiais (papel filtro) foram retirados dos frascos e as soluções então levadas para leitura de concentração de íons Cu^{+2} pelo espectrofotômetro de absorção atômica, modelo AA-6300 SHIMADZU localizado no Departamento de Solos e Adubos da FCA, quantificando íons de cobre (Cu), de acordo com o método usado por Chaim et al. (1999a; 1999b).

Este método garante que os dados de depósitos podem ser analisados separadamente para superfícies abaxial e adaxial, em diferentes partes de uma planta (superior e inferior). As placas de Petri também foram lavadas com a mesma quantidade de solução extratora do marcador cúprico e para sua quantificação utilizou-se o mesmo procedimento.

Os valores obtidos na leitura pelo espectrofotômetro quando relacionados a diferentes concentrações do marcador cúprico permitem o estabelecimento de uma

equação de reta linear, indicando a concentração de cobre (mg.L^{-1}) no alvo após a aplicação. Ao correlacionar a concentração do cobre, na solução extratora das amostras, com a obtida na calda de pulverização, foi possível estabelecer o volume capturado pelo alvo por meio da equação 2 (E2), sugerida por Scudeler et al. (2004).

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \quad (\text{E2})$$

Em que:

C_i = concentração do Cobre na calda (mg.L^{-1});

V_i = volume capturado pelo alvo (mL);

C_f = concentração do traçador detectada no espectrofotômetro (mg.L^{-1});

V_f = volume de diluição da amostra (20 mL).

Sabendo o tamanho do alvo coletor (9 cm^2) e o volume capturado do marcador pode estimar a pulverização ($\mu\text{L.cm}^{-2}$) por época de aplicação e também a quantidade de calda que se perdeu para o solo (endoderiva) entre as linhas de cultura.

3.3.2 Análise qualitativa da pulverização

A avaliação qualitativa da pulverização foi realizada com cartões de papel hidrossensível de tamanho $26 \times 76 \text{ mm}$. Os papéis foram distribuídos nas respectivas parcelas e presos em hastes de ferro com bases para fixação dos cartões. Cada cartão foi fixado em uma base com altura correspondente às posições superior e inferior das plantas, os quais foram fixados por fita adesiva para não se movimentar pela passagem do pulverizador e fluxo de ar. Foram alocados em paralelo à haste principal das plantas e no interior do dossel, entre os folíolos das plantas. Após as pulverizações, os cartões de papel hidrossensível foram recolhidos e alocados individualmente em placas de Petri, as quais foram previamente identificadas e assim transportadas em caixa térmica (isopor) para posterior análise dos cartões (Figura 2).

Com o auxílio de um scanner de mesa, foram digitalizadas as imagens dos cartões de papel hidrossensível com resolução de 600 dpi, e assim passível de serem

analisadas pelo software Gotas®, da Embrapa, obtendo ao fim a porcentagem de cobertura de cada tratamento.

Figura 2 – Cartões de papel hidrossensível dispostos na parcela (a); e posterior análise em Scanner de mesa (b), Botucatu/SP, 2017.



3.4 Amostragem de Índice de área foliar (IAF)

Foram realizadas avaliações periódicas de índices de área foliar na área experimental. Para a caracterização da área foliar foi coletado um metro linear em cada parcela totalizando 20 amostras por coleta. As coletas foram espaçadas a cada 15 dias após a emergência da cultura (DAE), desde 15 DAE até sua senescência. As plantas coletadas tiveram todos os seus folíolos destacados, mensurados e somados através de um medidor de área foliar de bancada LICOR, modelo LI - 3100. Assim sendo, foi possível estabelecer o nível de área foliar durante o ciclo da cultura.

3.5 Análise de valores absolutos para depósito de calda no solo

Ademais, de acordo com a análise quantitativa dos depósitos da pulverização ($\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}$) e o índice de área foliar na época ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) pode-se correlacionar os dados e assim estimar a quantidade de calda (em $\text{L}.\text{ha}^{-1}$) que distribuiu-se na planta como um todo além do quanto de volume foi perdido para o solo em cada velocidade do ar assistido.

3.6 Análise estatística dos dados

Os valores médios dos depósitos da pulverização foram transformados ($\sqrt{x + 1}$) e analisados no esquema fatorial (4 x 2 x 2), quatro velocidades do ar assistido, 2 posições (superior e inferior) e 2 superfícies foliares (adaxial e abaxial), uma para cada época de aplicação. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Os valores médios da porcentagem de cobertura também foram transformados ($\sqrt{x + 1}$) e posteriormente analisados no esquema fatorial (4 x 2), as mesmas quatro velocidades e 2 posições avaliadas na planta (superior e inferior).

Ainda, os valores médios de perdas para o solo foram analisados e submetidos à análise de variância e as variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão e significância com F de 5%.

Os valores absolutos de pulverização na planta e no solo foram analisados em esquema de parcelas subdivididas no tempo, considerando valores de depósitos em quatro velocidades do ar assistido e três períodos de tempo, e então submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR®, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pulverizações foram realizadas nas seguintes condições meteorológicas (Tabela 3).

Tabela 3. Condições meteorológicas em cada uma das aplicações dos tratamentos. Botucatu/SP, 2017.

Data	Estádio Fenológico	Temperatura (°C)	UR do ar (%)	Velocidade do vento (km.h ⁻¹)	Direção do vento
03/01/17	V6	27,1	82	5,6	S
01/02/17	R2	26,5	76	3,3	S
02/03/17	R5.5	24,2	85	1,7	SO

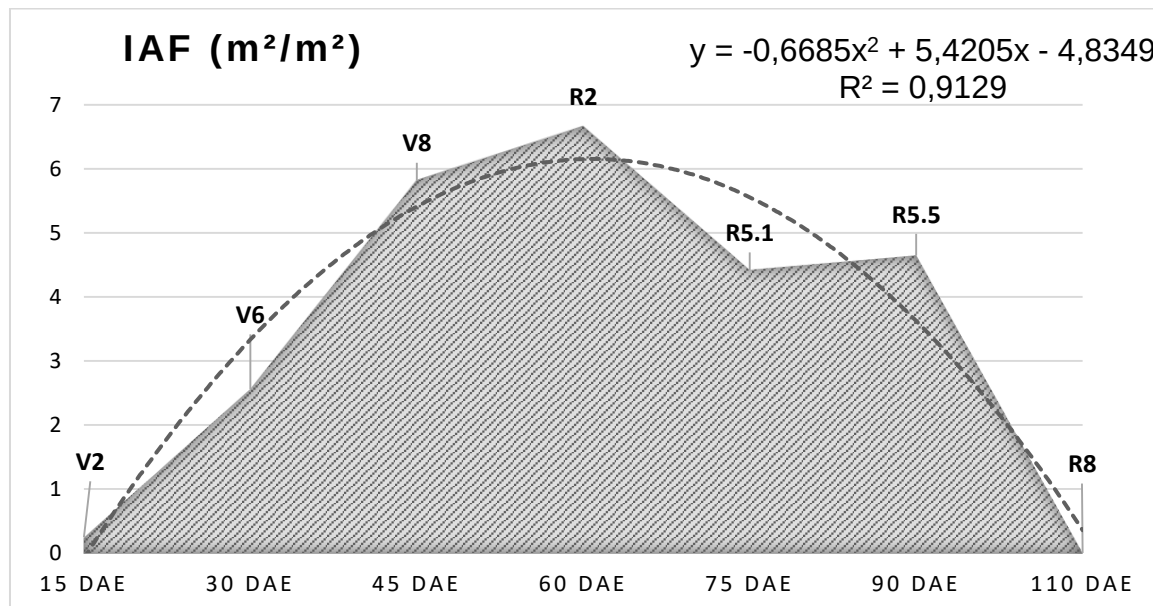
4.1 Desenvolvimento da cultura da soja

Para discussão dos resultados e melhor entendimento dos dados, deve-se observar os efeitos segundo o IAF presente na área, visto que o desempenho da tecnologia de assistência de ar junto à barra de pulverização é altamente dependente deste fator. Para tanto, a análise do desenvolvimento foliar da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (Figura 3) contribui para as discussões sobre análise quantitativa e qualitativa das pulverizações, bem como as perdas para o solo.

As pulverizações foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE), correspondendo aos estádios fenológicos V6, R2 e R5.5, respectivamente, e ainda um índice de área foliar de 2.56, 6.67 e 4.64 m² de folhas por m² de superfície, respectivamente.

O índice de área foliar (IA) máximo foi obtido no estágio de desenvolvimento R2, aos 60 DAE, com a variedade de soja FTS Campo Mourão RR e equivalente a 6,67 m².m⁻² (Figura 3).

Figura 3 – Curva de índice de área foliar (IAF) foliar da cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, ao longo do seu desenvolvimento fenológico. Botucatu/SP, 2017.



4.2 Análise quantitativa de pulverização

4.2.1 Deposição da pulverização em estágio V6

Aos 30 DAE, a variedade FTS Campo Mourão RR apresentava IAF baixo de aproximadamente 2,56 m^2 de folhas por m^2 de área, correspondendo ao estágio fenológico V6. Nos alvos posicionados na parte superior da planta, o uso da velocidade máxima do ar junto à barra diminuiu o volume depositado na parte superior da planta e superfície adaxial dos folíolos, porém aumentou significativamente os depósitos na superfície abaxial na mesma parte da planta. A velocidade máxima do ar ainda promoveu incremento dos depósitos na superfície adaxial dos folíolos da parte inferior da planta. Não houve influência da velocidade do ar junto à barra sobre os níveis dos depósitos na parte inferior das plantas e superfície abaxial das folhas (Tabela 4).

Esses resultados podem ser explicados de maneira semelhante aos obtidos por Gan-Mor, Grimstein e Riven (2000) onde os autores constataram que em situações onde há a passagem de fluxo de ar pela cultura atingindo o solo permite que alguma quantidade de ar, pelo vórtice ali existente, carregue a nuvem de gotas em

sentido ascendente atingindo, portanto, a superfície abaxial das folhas na parte inferior das plantas.

Tabela 4 - Efeito da velocidade de ar assistido sobre os depósitos médios ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) da pulverização de um marcador cúprico, em alvos artificiais (papel filtro) nas partes superior e inferior da planta e superfícies adaxial e abaxial dos folíolos na cultura da soja, FTS Campo Mourão RR, aos 30 DAE. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Causa de variação	Valor de F	Probabilidade (p<0,05)		
Velocidade do ar	2,497	0,0683		
Parte da planta	79,014	0,000*		
Superfície foliar	418,14	0,000*		
Velocidade do ar x Parte da planta	1,166	0,3303		
Velocidade do ar x Superfície foliar	12,582	0,000*		
Parte da planta x Superfície foliar	23,786	0,000*		
Velocidade do ar x Parte da planta x Superfície foliar	20,578	0,000*		
Tratamento	Superior		Inferior	
Vel. (km.h ⁻¹)	Adaxial	Abaxial	Adaxial	Abaxial
0	0,645 aAα	0,034 bB	0,260 bAβ	0,034 B
10	0,766 aAα	0,027 bB	0,335 abAβ	0,021 B
20	0,694 aAα	0,038 bB	0,276 bAβ	0,018 B
30	0,374 b	0,343 aα	0,437 aA	0,068 Bβ
CV %	3,44			

Médias seguidas pelas mesmas letras em cada nível de comparação não diferem pelo teste Tukey (P<0,05).

Letras minúsculas comparam deposição entre as velocidades do ar dentro de cada parte da planta (superior/inferior) e superfície foliar (adaxial/abaxial).

Letras maiúsculas comparam deposição entre parte da planta (superior/inferior) dentro de velocidades do ar e superfície foliar (adaxial/abaxial).

Letras gregas comparam deposição entre as superfícies foliares (adaxial/abaxial) dentro de cada velocidade do ar e parte da planta (superior/inferior).

Na parte superior da planta, todos os tratamentos se depositaram mais na superfície adaxial das folhas, exceto com o uso da maior velocidade de ar (30 km.h⁻¹), a qual não promoveu diferença estatística entre superfície adaxial e abaxial dos folíolos, promovendo maior distribuição da pulverização em ambas superfícies foliares.

Esses resultados diferem dos obtidos por Bauer e Raetano (2000) que, também estudando diferentes velocidades da assistência de ar junto à barra de pulverização,

não observaram aumento significativo nos níveis de depósitos nos folíolos posicionados na parte superior da cultura da soja. No entanto, os autores avaliaram os depósitos na cultura no estágio R6, enquanto este efeito foi observado em plantas no estágio V6. Ainda, esse efeito não foi observado na parte inferior da planta, não resultando em diferenças significativas entre os tratamentos.

4.2.2 Deposição da pulverização em estágio R2

As avaliações compreenderam o máximo desenvolvimento e índice de área foliar, correspondendo à 6,67 m² de folhas por cada m² de superfície, no estágio R2 de desenvolvimento fenológico. Sendo assim, os mesmos tratamentos (velocidade de assistência de ar) testados não foram capazes de apresentar diferença estatística entre si (Tabela 5).

Tabela 5 - Efeito da velocidade de ar assistido sobre os depósitos médios ($\mu\text{L.cm}^{-2}$) da pulverização de um marcador cúprico, em alvos artificiais (papel filtro) nas partes superior e inferior da planta e superfícies adaxial e abaxial dos folíolos na cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, aos 60 DAE. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Causa de variação	Valor de F	Probabilidade (p<0,05)
Velocidade do ar	0,587	0,6256
Parte da planta	66,901	0,00*
Superfície foliar	123,428	0,00*
Velocidade do ar x Parte da planta	1,233	0,3055
Velocidade do ar x Superfície foliar	2,099	0,1097
Parte da planta x Superfície foliar	38,018	0,00*
Velocidade do ar x Parte da planta x Superfície foliar	1,057	0,3742
Velocidade do ar (km.h⁻¹)	Depósitos ($\mu\text{L.cm}^{-2}$)	
0	0,273	
10	0,306	
20	0,327	
30	0,246	
CV (%)	6,76	

No entanto, houve interação entre os fatores parte da planta e superfície foliar, dispostos na Tabela 6. A deposição da pulverização na superfície adaxial foi

estatisticamente superior àquela obtida na abaxial, independentemente da parte da planta avaliada (superior ou inferior). E, ainda, a superfície abaxial não mostrou diferenças estatísticas nos valores de depósitos nas diferentes partes da planta (superior ou inferior), mas, com resultado diferente para a superfície adaxial, onde maior deposição foi observada na parte superior da planta, a qual representa a parte mais exposta à pulverização.

Tabela 6 – Desdobramento da interação entre os fatores parte da planta e superfície foliar sobre os depósitos médios ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) da pulverização de um marcador cúprico, em alvos artificiais (papel filtro) em folíolos na cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, aos 60 DAE. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Parte da planta	Superfície	
	Adaxial	Abaxial
Superior	0,818 aA	0,099 B
Inferior	0,208 bA	0,027 B
CV %	6,76	

Médias seguidas pelas mesmas letras em cada nível de comparação não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Letras minúsculas comparam deposição entre parte da planta (superior/inferior) dentro de cada superfície foliar (adaxial/abaxial).

Letras maiúsculas comparam deposição entre superfície foliar (adaxial/abaxial) dentro de cada parte da planta (superior/inferior).

4.2.3 Deposição da pulverização em estágio R5.5

As avaliações compreenderam o término de enchimento de grãos e já iniciando o processo de senescência, portanto, neste momento apresentava IAF intermediário, correspondendo à $4,64 \text{ m}^2$ de folhas por cada m^2 de superfície, no estágio R5.5 de desenvolvimento fenológico.

Neste estágio não foi constatada diferença significativa nos valores de depósitos entre os tratamentos velocidade máxima de ar ($30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) e a aplicação convencional (Tabela 7). No entanto, a velocidade do ar de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ não apresentou boa deposição quando comparada à aplicação convencional e à velocidade máxima do ar ($30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Tabela 7 - Efeito da velocidade de ar assistido sobre os depósitos médios ($\mu\text{L.cm}^{-2}$) da pulverização de um marcador cúprico, em alvos artificiais (papel filtro) nas partes superior e inferior da planta e superfícies adaxial e abaxial dos folíolos na cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, aos 90 DAE. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Causa de variação	Valor de F	Probabilidade (p<0,05)
Velocidade do ar	4,413	0,0072*
Parte da planta	73,567	0,00*
Superfície foliar	131,256	0,00*
Velocidade do ar x Parte da planta	4,14	0,2316
Velocidade do ar x Superfície foliar	2,128	0,106
Parte da planta x Superfície foliar	59,19	0,00*
Velocidade do ar x Parte da planta x Superfície foliar	0,991	0,4031
Velocidade do ar (km.h^{-1})	Depósitos ($\mu\text{L.cm}^{-2}$)	
0	0,325 a	
10	0,184 b	
20	0,230 ab	
30	0,336 a	
CV (%)	5,88	

Médias seguidas pelas mesmas letras em cada nível de comparação não diferem pelo teste Tukey ($P<0,05$).

Além destes resultados, foi observado o mesmo efeito da época anterior, onde houve interação entre os fatores parte da planta e superfície foliar (Tabela 6), onde os resultados da comparação de médias podem ser observados na Tabela 8.

A deposição da pulverização na superfície adaxial foi estatisticamente diferente à obtida na superfície abaxial, em qualquer parte da planta (superior ou inferior), com maiores valores de depósito. E, ainda, a superfície abaxial não demonstrou diferenças estatísticas entre os depósitos nas diferentes partes da planta (superior ou inferior), porém na superfície adaxial, maiores valores de depósito foram observados na parte superior da planta, a qual está mais exposta à pulverização.

Tabela 8 – Desdobramento da interação entre os fatores parte da planta e superfície foliar sobre os depósitos médios ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) da pulverização de um marcador cúprico, em alvos artificiais (papel filtro) em folíolos na cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, os 90 DAE. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Parte da planta	Superfície	
	Adaxial	Abaxial
Superior	0,759 aA	0,083 B
Inferior	0,174 bA	0,059 B
CV %	5,88	

Médias seguidas pelas mesmas letras em cada nível de comparação não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Letras minúsculas comparam deposição entre parte da planta (superior/inferior) dentro de cada superfície foliar (adaxial/abaxial).

Letras maiúsculas comparam deposição entre superfície foliar (adaxial/abaxial) dentro de cada parte da planta (superior/inferior).

4.3 Análise qualitativa de pulverização

Os resultados de porcentagem de cobertura, obtidos pela análise da imagem de papel hidrossensível, estão dispostos na Tabela 9. Aos 30 DAE, não foi observada diferença estatística entre as porcentagens cobertura na parte superior da planta. Entretanto, a velocidade máxima de deslocamento de ar ($30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) proporcionou maior cobertura na parte inferior da cultura, diferindo estatisticamente da menor velocidade ($10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), mas sendo igual ao convencional e com velocidade de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Com o desenvolvimento da cultura, observa-se menor cobertura da pulverização independentemente do tratamento. Isso possivelmente se deve à pela densidade foliar máxima presente possibilitando o chamado efeito “guarda-chuva”, impedindo maiores coberturas nas partes estudadas pela sobreposição de folhas no dossel da cultura (Tabela 9). Ainda, este efeito impede maior uniformidade na amostragem, causando grande amplitude de valores de cobertura de pulverização.

Tabela 9 - Efeito da velocidade de ar assistido sobre os valores de cobertura (%) da pulverização em papel hidrossensível nas partes superior e inferior da planta aos 30, 60 e 90 Dias após a emergência (DAE). Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Tratamento (km.h ⁻¹)	30 DAE		60 DAE		90 DAE	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
0	10,771 A	4,649 abB	0,007 c	0,004 b	4,618 dB	7,664 bA
10	11,004 A	2,071 bB	9,165 aA	0,783 bB	15,213 c	16,430 a
20	15,825 A	4,707 abB	3,954 b	5,931 a	33,315 bA	18,219 aB
30	10,441	8,732 a	3,907 b	6,281 a	43,741 aA	19,269 aB
CV %	19,7		24,18		8,88	

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na mesma linha dentro de cada DAE não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 90 DAE, na parte superior da planta, houve incremento de depósito quanto maior a velocidade de assistência de ar. Já na parte inferior, todos os níveis de assistência aumentam o depósito nesta posição, onde foram diferentes estatisticamente do método de pulverização convencional (não assistido por ar).

Baesso et al. (2014b) estudaram a porcentagem de cobertura da pulverização utilizando assistência de ar em feijoeiro no estágio vegetativo R6 (Florescimento pleno do feijão) e obtiveram médias de 1,85% para 200 L.ha⁻¹ e 11,93% para 400 L.ha⁻¹ nas partes inferiores das plantas. Apesar dos dados obtidos em outra cultura, o mesmo volume (200 L.ha⁻¹) para soja, também em florescimento pleno (60 DAE) neste trabalho proporcionou valores de cobertura consideravelmente superiores, exceto com velocidade de assistência de 10 km.h⁻¹ e na ausência do ar assistido junto à barra de pulverização (método convencional).

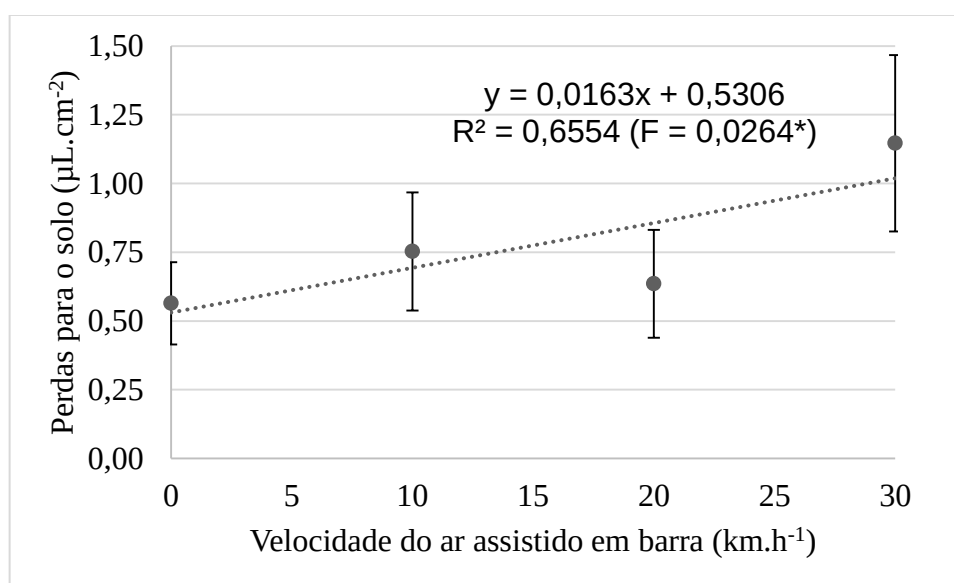
As porcentagens de cobertura nas partes superiores das plantas são maiores em praticamente todos os tratamentos, assim como constatado por Souza (2016). Ainda, a aplicação convencional aos 90 DAE obteve resultados inversos com maior porcentagem de cobertura em partes inferiores das plantas, apesar de valores menores que os demais tratamentos obtidos na mesma posição da planta. Provavelmente a redução do IAF, aos 90 DAE, tenha contribuído para o incremento da cobertura da pulverização não assistida por ar na parte inferior da planta.

4.4 Perdas da pulverização para o solo

A assistência de ar pode promover perdas da pulverização para o solo tanto para uma lavoura em desenvolvimento, com baixa densidade foliar, quanto para uma lavoura em desenvolvimento pleno, com alta densidade foliar (TSAY; LIANG; LU, 2004; MATTHEWS, 2000; 2014).

Em um primeiro momento, aos 30 DAE, o uso da assistência de ar em velocidade máxima, apesar de demonstrar maior uniformidade de distribuição da pulverização pelas avaliações anteriores, promoveu grande desperdício de calda, provocando contaminações acentuadas no solo, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Perdas da calda de pulverização para o solo, aos 30 dias após a emergência (DAE) da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, com o volume de 200 L.ha⁻¹ de calda. Botucatu/SP, safra 2016/2017.



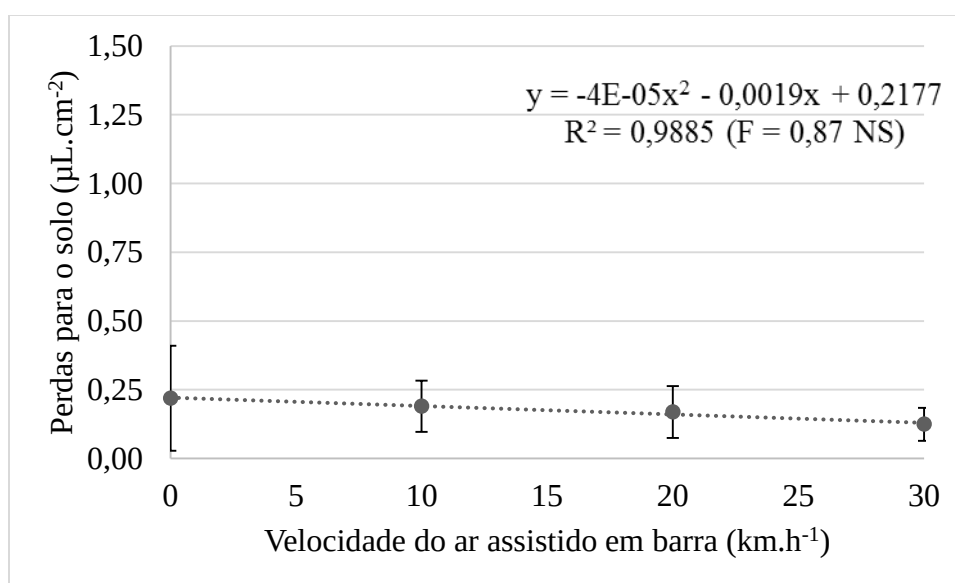
Quanto mais se eleva a velocidade de deslocamento de ar pela assistência de ar na barra de pulverização, maiores são as perdas de calda para o solo, dentro do intervalo de velocidade estudado. No mesmo sentido, Raetano e Bauer (2004) encontraram perdas acentuadas para o solo em pulverização assistida por ar em feijão em fase inicial de desenvolvimento (com 40% do solo descoberto). Entretanto, na ausência de plantas, as perdas com a assistência de ar estão estritamente relacionadas com a direção de deslocamento do pulverizador e direção e velocidade

do vento, pois em alguns casos muito específicos o uso desta tecnologia pode atenuar essas perdas na pulverização (TSAY; LIANG; LU, 2004).

Aos 60 DAE, onde a aplicação foi feita com IAF máximo da cultura, os dados não apresentaram tendência e não foram reveladas diferenças estatísticas entre as alterações de velocidade do fluxo de ar, sendo os resultados demonstrados pela Figura 5.

Nesse estágio de desenvolvimento da soja (R2) houve máxima retenção foliar, impedindo que um grande volume ultrapasse a barreira física das folhas, sem que haja influência da velocidade da assistência de ar na barra nas perdas para o solo neste momento.

Figura 5 – Perdas da calda de pulverização para o solo, aos 60 dias após a emergência (DAE) da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, com o volume de 200 L.ha⁻¹ de calda. Botucatu/SP, safra 2016/2017.



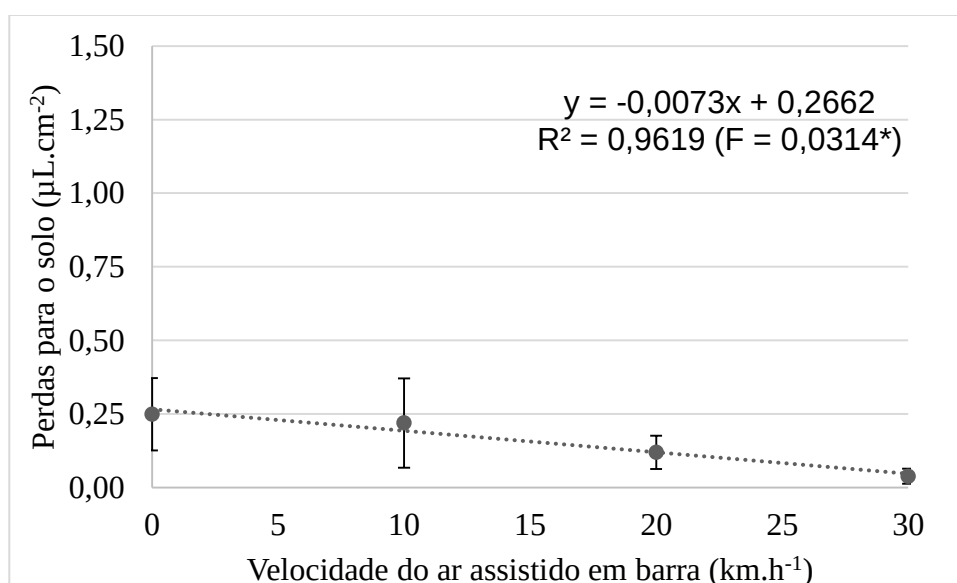
Esses resultados foram ressaltados por Bauer e Raetano (2000). Os autores não observaram diferença estatística de perdas para o solo entre o equipamento convencional quando comparada com o equipamento dotado de assistência de ar junto a barra de pulverização (24,8 km.h⁻¹ e 100 L.ha⁻¹), utilizado também na cultura da soja.

É oportuno mencionar que, os resultados anteriormente citados foram obtidos quando a cultura estava no estágio R6, portanto em contraste do que foi observado

no presente trabalho (Figura 6), aos 90 DAE, onde a cultura se apresenta no estágio fenológico R5.5.

Neste período, com IAF menor que aos 60 DAE, o resultado foi inversamente proporcional, com o aumento da velocidade do fluxo de ar se reduz as perdas para o solo, dentro do intervalo estudado (Figura 6). Possivelmente a movimentação que esse deslocamento de ar causa na cultura pode servir de barreira física para impedir a deposição das gotas sobre o solo. Ade e Rondelli (2007) constataram o mesmo, onde a utilização de assistência de ar possibilitou reduzir perdas para o solo em 37%, sendo que, neste caso, a redução foi de 84,5%, comparando os valores da aplicação convencional e maior velocidade do fluxo de ar junto à barra de pulverização.

Figura 6 – Perdas da calda de pulverização para o solo, aos 90 dias após a emergência (DAE) da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, com o volume de 200 L.ha⁻¹ de calda. Botucatu/SP, safra 2016/2017.



4.5 Valores absolutos de perdas para o solo

Os valores de perdas para o solo (L.ha⁻¹) estão apresentados na Tabela 10. Houve interação entre a época de aplicação e os tratamentos estudados. Apenas aos 30 DAE pode-se observar diferença estatística nos valores de perdas para o solo (L.ha⁻¹) com variação da velocidade de ar. Quanto mais se elevou a velocidade do ar, maiores volumes foram perdidos para o solo, neste período. Nos demais, não foram observadas diferenças estatísticas.

Portanto, a utilização de assistência de ar em solo pouco coberto, de fato, promove grandes perdas de calda devido à energia transferida às gotas de pulverização, forçando-as a se depositar no solo. Esses dados são observados aos 30 DAE, onde a utilização de assistência de ar promove perdas da ordem de 63,5 L.ha⁻¹, chegando a valores maiores que 50% do que é pulverizado (114,63 L.ha⁻¹) na velocidade máxima do ar, valor estatisticamente diferente quando comparado ao tratamento convencional (sem ar), conforme visualização na Tabela 10.

Tabela 10 - Efeito da velocidade de ar assistido e época de aplicação (DAE) sobre as perdas absolutas (L.ha⁻¹) para o solo em pulverizações na cultura da soja, variedade FTS Campo Mourão RR, com volume de 200 L.ha⁻¹. Botucatu/SP, safra 2016/2017.

Causa de variação		Valor de F	Probabilidade (p<0,05)
Velocidade do ar		0,333	0,8018
CV % (1)	32,05		
Época de aplicação		80,807	0,00*
Velocidade do ar x Época de aplicação		4,631	0,0017*
CV % (2)	24,52		
Tratamento (km.h ⁻¹)	Perdas (L.ha ⁻¹)		
	30 DAE	60 DAE	90 DAE
0	56,43 bA	21,94 B	24,89 B
10	75,32 abA	18,96 B	21,94 B
20	63,54 abA	16,90 B	11,97 B
30	114,63 aA	12,44 B	3,87 B

Médias seguidas pelas mesmas letras em cada nível de comparação não diferem pelo teste Tukey (P<0,05).

Letras minúsculas comparam perdas de calda para o solo entre as velocidades de ar dentro de cada época de aplicação.

Letras maiúsculas comparam perdas de calda para o solo entre as épocas de aplicação dentro de velocidades do ar.

Outra tendência observada é a diminuição das perdas de pulverização para o solo, com o aumento do IAF, independente do uso da assistência de ar e da velocidade de fluxo de ar ou equipamentos convencionais. Com o desenvolvimento da planta até 60 DAE maior densidade foliar atua como barreira física à passagem direta das gotas da pulverização para o solo.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- A assistência de ar em pulverizadores de barras é altamente dependente do índice de área foliar (IAF) da cultura para expressar seus benefícios ou aumentar riscos de contaminação no solo;
- O uso de 30 km.h^{-1} de assistência de ar na barra de pulverização pode aumentar os depósitos na parte inferior da cultura da soja e superfície abaxial de folíolos, mas aumenta simultaneamente perdas para o solo quando a cultura encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento;
- A assistência de ar em pulverizadores de barra aumenta a cobertura da pulverização, tanto na parte superior como na inferior da planta, com maiores resultados de cobertura na velocidade máxima de ar assistido (30 km.h^{-1});
- A assistência de ar pode diminuir perdas para o solo quanto maiores as velocidades de ar junto à barra de pulverização na cultura da soja com IAF Intermediário à avançado;
- Uma cultura com IAF elevado ($6,67 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) é capaz de minimizar benefícios da tecnologia de aplicação e dificultar a aplicação de produtos fitossanitários.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADE, G.; RONDELLI, V. Performance of an air-assisted boom sprayer in the control of Colorado beetle infestation in potato crops. **Biosystems Engineering**, v. 97, p.181 – 187, 2007.

ANDERSEN, P. G.; JORGENSEN, M. K.; TAYLOR, W. A. Hardi Twin Assistance for field crop sprayers – The status after 10 years in use. **Hardi International Application Technology Course**, v.1, p.138-144, 2000.

ANDREI (Ed.). **Compêndio de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola**. 9º ed. São Paulo: Andrei, 2013. 1380p.

ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de pesquisa de Soja 2009**. Rondonópolis, v. 13, p. 299-317, 2009.

ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 537 p.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014a.

BAESSO, M. M.; RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGNO JUNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; MODOLO, A. J. Population and spectrum of droplets produced during electrostatic spraying and hydraulic spraying using air assistance. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.22, n.5, p.408-412, 2014b.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Assistência de ar e perdas na deposição de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 271-276, 2000.

BLACK, R. J. **Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva**. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). Soja: tecnologia de produção II. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.

BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo : origem, história e distribuição**. In : MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). A soja no Brasil. Campinas : ITAL, p. 1-6, 1981.

BUISMAN, P.; SUNDARAM, K. M. S.; SUNDARAM, A.; TRAMMEL, K. Field deposit patterns of a diflubenzuron spray mix, after application to apple orchard using an air-blast sprayer, and a laboratory evaluation of physical properties and atomization characteristics. **Journal of Environmental Science and Health**, New York, v. 24, n. 4, p. 389-411, 1989.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, D. A.; MORSOLETO, R. V.; PIO, L. C. Avaliação de perdas de pulverização em cultura de feijão e tomate. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 29p. (Boletim de Pesquisa). 1999a.

CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; 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.741-747, 1999b.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L. C. Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.10, p.65-74, 2000.

CHEN, J. M., BLACK, T. A. Defining Leaf-Area Index for Non-Flat Leaves. **Plant, Cell & Environment**. v.15: p.421-429. 1992.

CHRISTOVAM, R. S.; RAETANO, C. G.; AGUIAR JUNIOR, H. O.; DAL-POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; GIMENES, M. J.; KUNZ, V. L. Assistência de ar em barra de pulverização no controle da ferrugem asiática da soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.231-238, 2010.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Plant Sciencies**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**: oitavo levantamento, maio, 2017. Brasília: Conab, 2017. vol. 8, 144 p. Publicação mensal. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_maio_2017.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2017.

COOKE, B. K.; HISLOP, E. C.; HERRINGTON, P. J.; WESTERN, N. M.; HUMPHERSON-JONES, F. Air-assisted spraying of arable crops, in relation to deposition, drift and pesticides performance. **Crop Protection**, v. 9, n. 4, p. 697, 1990.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. **Amostragem de pragas da soja**. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-Praga. Londrina: Embrapa Soja, 2012. p.335-420.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

COURSHEE, R. J. Application and use of foliar fungicides. In: TORGESON, D. C. ed. **Fungicide – an advanced treatise**, New York, Academic Press, 1967. p.239-286

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, **Special Report**, n.80, p.11, 1977.

FERREIRA, D. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GAN-MOR, S.; GRINSTEIN, A.; RIVEN, Y. A new technology for improved pesticide coverage on cotton canopy: Part I. Sprayer development. In: **New Frontiers in Cotton Research. Proceedings of World Cotton Research Conference**, Part II (ed. F. Gillham). Organising and Scientific Committee, Athens, Greece, 2000.

GAZZONI, D. L. **A sustentabilidade da soja no contexto do agronegócio brasileiro e mundial**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: < 59 <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94641/1/Doc-344-online.pdf>>. Acesso em: 24 mar 2017.

GIMENES, M. J.; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; CHRISTOVAM, R. S.; COSTA, S. I. A. Air-assistance in spray booms which have different spray volumes and nozzle types for chemically controlling *Spodoptera frugiperda* on corn. **Journal of Plant Protection Research**, v. 52, p. 247-253, 2012.

HIMEL, C. H. The optimum size for insecticide spray droplets. **Journal of Economic Entomology**, v.62, p.919-925, 1969.

HISLOP, E. C.; WESTERN N. M. **Air-assisted spraying of cereal plants under controlled conditions**. In: ANPP — BCPC — 2nd Int. Symposium on Pesticide Application Techniques, 289- 296, Strasbourg. Farnham, Surrey, UK: The British Crop Protection Council, 1993.

JORGENSEN, L.; WITT, K. L. **Spraying and the impact on the environment: Spraying technique in relation to approval and use of pesticides in Northern Europe**. In: HARDI INTERNATIONAL. Hardi international application technology course 2000. Taastrup, 2000. v.1, cap. 2, p.4-16.

KOCH, H. **The evolution of application techniques in Europe** .In: Simpósio internacional de Tecnologia de Aplicação de produtos sanitários, 1, 1997, Águas de Lindóia. **Anais**. Jaboticabal: IAC/UNESP, p.30-38, 1997.

KUNZ, V. L. **Dinâmica do ar em barra pulverizadora, com saída única e dupla, deposição da calda e controle da ferrugem Asiática da soja**. 2010. 48f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LANG, A. R. G., McMURTRIE, R. E.; BENSON, M. L. Validity of surface area indices of Pinus Radiata estimated from transmittance of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**. 57: 157-170. 1991.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro. **Documentos Embrapa**, Londrina, n. 319, 2009.

LEAO, L. H. C.; VASCONCELLOS, L. C. F. Cadeias produtivas e a vigilância em saúde, trabalho e ambiente. **Saúde e Sociedade**, São Paulo , v. 24, n. 4, p. 1232-1243, 2015.

LEONARD, R.; RICE, B.; DOWLEY, L. J.; WARD, S. The effect of air assistance on spray deposition and biological effect in the control *Phytophthora infestans* in potatoes. **Aspects of Applied Biology**, n. 57, p. 243-249, 2000.

LOCKLEY, K. D. Efficacy of fungicides applied to winter wheat by air-assisted sprayers. In: International Symposium On Pesticide Application Techniques, **Anais..**, 1993, Strassburg, s. p.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v.2, 1994. 168p.

MANICA, I.; COSTA, J.C. **Cultura da soja**. ed. Evangraf, Porto Alegre, 1996, 233p.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 2. ed. London, Longman, 1992. 405p.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. Blackwell Science, 2000. 432p.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 4. ed. 2014. 499p.

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

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. **Proteção de Plantas - Tecnologia de aplicação dos agroquímicos e equipamentos**. Viçosa, 2010, 73p.

MAY, M. J. Early studies on spray drift, deposit manipulation and weed control in sugar beet with two air-assisted boom sprayers. In: LAVERS, A.; HERRINGTON, P.; SOUTHCOMBE, E.S (eds.). **Air-assisted spraying in crop protection**. Farnham, UK: BCPC, Monograph n.46, p.89-96, 1991.

MIRANDA, J.E.; BETTINI, P.C.; SILVA JÚNIOR, J.R. Assistência de ar na barra de pulverização no controle de pragas da cultura do algodão. In: Congresso Brasileiro De Algodão, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: **Anais...** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, p.82-87, 2011.

MYNENI, R. B.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 35: 1380-1393, 1997.

NORDBO, E.; TAYLOR W. A. **The effect of air assistance and spray quality (drop size) on the availability, uniformity, and deposition of spray on contrasting targets**. In: Air-Assisted Spraying in Crop Protection, eds. A. Lavers, P. Herrington, and E. S. E. Southcombe, 113-125. BCPC Monograph No. 46. Farnham, Surrey, UK: The British Crop Protection Council. 1991.

PANNETON, B.; PHILION, H.; THEEIALT, R.; KHELIFI, M. Spray chamber evaluation of air-assisted spraying on potato plants. **American Society of Agricultural Engineers – ASAE**, v. 43, n. 3, p. 529-534, 2000.

PERGHER, G.; GUBIANI, R. The effect of spray application rate on foliar deposition in a hedgerow vineyard. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.61, n.3, p.205- 216, 1995.

PERGHER, G.; ZUCCHIATTI, N.; GUBIANI, R. Influence of spray application parameters on the position in asparagus crop. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v.73, n.1, p.19-28, 1999.

PICHÉ, M.; PANNETON, B; THÉRIAULT, R. Field evaluation of Air-assisted boom spraying on broccoli and potato. **American Society of Agricultural Engineers – ASAE**, v.43, n.4, p.793-799, 2000.

PRADO, E. P. **Assistência de ar em pulverização no manejo fitossanitário da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill.]**. Botucatu, 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em agronomia/Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

PRADO, E. P.; RAETANO, C.G.; AGUIAR JÚNIOR, H. O.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; CHRISTOVAM, R. F.; GIMENES, M. J.; ARAÚJO, D. Velocidade do ar em barra de pulverização na deposição da calda fungicida, severidade da ferrugem asiática e produtividade da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.36, n.1, p.45-50, 2010a.

PRADO, E. P.; RAETANO, C.G.; AGUIAR JÚNIOR, H. O; DAL POGETTO, M. H. F. A. Tecnologias de aplicação de produtos fitossanitários no controle de percevejos pragas na cultura da soja. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.77, n.2, p.265-274, abr./jun., 2010b.

QUANQUIN, B. J.; ANDERSON, G. W.; TAYLOR, W. A.; ANDERSEN, P. G. Spray drift reduction and on-target deposition using the Hardi Twin system air-assisted boom sprayer. **American Society of Agricultural Engineers – ASAE**, n.89, p.1523. St. Joseph, Mich.: ASAE. 1989.

RAETANO, C. G. Assistência de ar em pulverizadores de barras. In: RAETANO, C.G.; ANTUNIASSI, U.R. (Eds.). **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: FEPAF, 2004. p.8-18. CD-ROM.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo de Tecnologia da aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. A.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: Fepaf, p.15-26, 2011a.

RAETANO, C. G. Assistência de ar em pulverizadores de barras: interferências e potencial de uso no sistema de plantio direto. In: ANTUNIASSI, U. A.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: Fepaf, p.105-119, 2011b.

RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Efeito da velocidade do ar em barra de pulverização na deposição de produtos fitossanitários em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.329- 334, 2003.

RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Deposição e perdas da em feijoeiro em aplicação com assistência de ar na barra pulverizadora. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.309-315, 2004.

RAETANO, C. G.; MERLIN, A. Avanços tecnológicos no controle da ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: UFV, 2006. p. 115-138.

ROBINSON, T. H. Large scale ground-based application techniques. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E.C. (Eds.). **Application technology for crop protection**. Wallingford: CAB International, 1993. p.163-186.

SARTORI, S. Equipamentos tratorizados para cultura de baixo fuste: situação no Cone-Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTO FITOSSANITÁRIOS, 1., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Jaboticabal: IAC/UNESP, 1997. p.110-112.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G.; ARAÚJO, D.; BAUER, F. C. Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.1, p.129-139, 2004.

SCUDELER, F.; RAETANO, C. G. Spray deposition and losses in potato as a function of air-assistance and sprayer boom angle. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.6, 2006.

SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, Paraná: Mecenias, 2009. 314 p.

SILVA JUNIOR, C. A.; NANNI, M. F.; TEODORO, P. E.; SILVA, G. F. C. Vegetation indices for discrimination of soybean area: A new approach. **Agronomy, Soils and Environmental Quality**. v.109, n.4, p.13, 2017.

SOUDANI, K.; FRANÇOIS, C.; LE MAIRE, G.; LE DANTEC, V.; DUFRÊNE, E. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. **Remote Sensing of Environment**, v.103, n.4, 2006, 497p.

SOUZA, D. M. **Arranjo de semeadura da soja sobre o rendimento da cultura e da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. 2016. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

TAYLOR, W.A.; ANDERSEN, P.G. A review of benefits of air assisted spraying trials in arable crops. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v.48, p.163-174, 1997.

TSAY, J. R.; LIANG, L. S.; LU, L. H. Evaluation of an air-assisted boom spraying system under a no-canopy condition using cfd simulation. **American Society of Agricultural Engineers – ASAE**, v.47 n.6 p.1887–1897, 2004.

VENEGAS, F.; RAETANO, C. G.; BAUER, F. C. Assistência de ar em barra de pulverização, deposição da calda e controle da pinta preta na cultura da batata. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.29, n.4, p. 323-9, 2003.

VIGANÓ, L. L. S.; RAETANO, C. G. Assistência de ar e volumes de aplicação na deposição de calda e no controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.). **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.734-741, 2007.

WATSON, D. J., Comparative physiological studies in the growth of field crops. In: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, 11: 41-76. 1947.