

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NO
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

Henrique Borges Neves Campos
Engenheiro Agrônomo

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NO
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

**Henrique Borges Neves Campos
Orientador: Prof. Dr. Silvano Bianco**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

C198T Campos, Henrique Borges Neves
Tecnologia de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas / Henrique Borges Neves Campos. -- Jaboticabal, 2017
iv, 57 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Silvano Bianco
Banca examinadora: Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, Rouverson Pereira da Silva, Lílian Lúcia Costa, George Gomes França de Carvalho
Bibliografia

1. Produtos fitossanitários-tecnologia de aplicação. 2. Plantas daninhas- controle químico. 3. Pulverização-automática. 4. Adjuvantes-mistura em tanque. 5. Pulverização aérea-deriva. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.51:632.954

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS


AUTOR: HENRIQUE BORGES NEVES CAMPOS

ORIENTADOR: SILVANO BIANCO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. SILVANO BIANCO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dra. LILIAN LÚCIA COSTA (Participação por Videoconferência)
Instituto Federal Goiano / Morrinhos/GO


Prof. Dr. GIORGE FRANÇA GOMES DE CARVALHO (Participação por Videoconferência)
Faculdade Arnaldo-Horácio Ferreira / Luis Eduardo Magalhães/BA


Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 19 de abril de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

HENRIQUE BORGES NEVES CAMPOS: Brasileiro, natural de Tupaciguara, Estado de Minas Gerais, nascido em 27 de outubro de 1986. Em 2005 começou os estudos de nível superior no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em 2009. Em 2010, como aluno especial, iniciou seus primeiros trabalhos com tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários junto à equipe de pesquisas coordenada pelo Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira. Em 2011 ingressou como aluno regular na Pós-Graduação em Agronomia no curso de Mestrado pelo programa Produção Vegetal no Departamento de Tratamento Fitossanitário da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Durante o curso de mestrado foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) continuando a desenvolver pesquisas com tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, focado nas culturas de milho, soja, café e citros. Em julho de 2013 obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

Em agosto de 2013 ingressou como aluno regular na Pós-Graduação em Agronomia no curso de Doutorado pelo programa Produção Vegetal no Departamento de Tratamento Fitossanitário da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Durante o curso de mestrado foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) continuando a desenvolver pesquisas com tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, focado controle de plantas daninhas e deriva de produtos fitossanitários. Ainda durante o doutoramento foi pesquisador convidado na Universidade de Nebraska-Lincoln, nos Estados Unidos. Em abril de 2017 obteve o título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. Herbicidas na agricultura: Status, desafios e perspectivas.....	1
2. Deriva de herbicidas e seus impactos.....	2
3. Tecnologia de aplicação de herbicidas.....	3
3.1. Espectro de gotas produzido por bicos hidráulicos.....	5
3.1.1. A influência de adjuvantes agrícolas no espectro de gotas.....	5
3.2. Aplicação aérea de herbicidas.....	7
3.3. Pulverizadores inteligentes para aplicação de herbicidas.....	8
3.4. Desempenho operacional de pulverizadores e controle estatístico de qualidade.....	9
REFERÊNCIAS.....	10
 CAPITULO 2 - EFEITOS DE ADJUVANTES POLÍMEROS EM MISTURA COM PICLORAM E 2,4-D NA DERIVA SOB CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO AÉREA	
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	20
1.INTRODUÇÃO.....	21
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1. Instalações e condições experimentais.....	22
2.2. Formulações avaliadas.....	23
2.3. Análises estatísticas.....	25
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	31

CAPÍTULO 3 - SENSORES ÓPTICO ELETRÔNICOS CONFIGURADOS EM QUADRICICLO PARA APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DE GLYPHOSATE NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS DA CANA

RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
1.INTRODUÇÃO.....	38
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	39
2.1. Avaliações de acurácia na detecção de plantas por sensores ópticos eletrônicos.....	41
2.2. Avaliações de eficácia do controle de plantas daninhas com o sistema automático de aplicação localizada por sensores.....	42
2.3. Avaliação da qualidade da operação de catação química de plantas daninhas com a aplicação automática em quadriciclo e a costal manual.....	44
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	54

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

RESUMO - Esta Tese nasceu de duas grandes oportunidades, avaliar o espectro de gotas pelo método de difração laser em túnel de vento de alta velocidade na Universidade de Nebraska-Lincoln (EUA) e contribuir com o desenvolvimento comercial do produto Herbiciclo Duo[®] da fabricante de pulverizadores Herbicat. As hipóteses que: (1) os adjuvantes agrícolas a base de polímero em mistura com herbicidas podem mitigar a deriva de gotas em aplicações aéreas e (2) o sistema de aplicação localizada WeedSeeker[®] é eficaz, preciso e economicamente viável foram usadas como base deste estudo. Foram avaliados cinco adjuvantes polímeros em mistura em tanque com os herbicidas 2,4-D e picloram quanto à deriva sob condições de pulverização aérea. Já, o sistema de aplicação localizada WeedSeeker[®] foi avaliado embarcado em quadriciclos para controle de plantas daninhas na entrelinha da cana-de-açúcar em função do tamanho de plantas, velocidade de aplicação, condições de irradiância e doses do herbicida glyphosate. Espera-se com este estudo apresentar estratégias para difundir práticas mais sustentáveis de intervenção fitossanitária em curto, médio e longo prazo.

PALAVRAS CHAVE: adjuvantes polímeros; pulverização costal manual; túnel de vento de alta velocidade; WeedSeeker[®]

HERBICIDE APPLICATION TECHNOLOGY ON WEED CONTROL

ABSTRACT – This thesis was created from two great opportunities, to evaluate the droplet spectra by using high speed wind tunnel laser diffraction method at the University of Nebraska-Lincoln (USA) and to contribute to the commercial development of the Herbiciclo Duo® product, produced by Herbicat sprayer manufacturer. The hypothesis that: (1) polymer adjuvants tank mixture with herbicides can mitigate spray drift under aerial applications and (2) the WeedSeeker® spot spray system is effective, accurate, and economically feasible were used as the basis for this study. The effect of five polymer adjuvants tank mixture with 2,4-D and picloram herbicides were evaluated due spray drift under aerial application conditions. The WeedSeeker® spot spray system was evaluated on quadicycle for weed control on sugarcane interrow due to plant size, speed track, irradiance conditions and glyphosate herbicide doses. It is hoped that this study presents strategies to disseminate more sustainable practices of phytosanitary intervention in the short, medium and long term.

KEY WORDS: backpack manual spraying; High-speed wind tunnel; Polymer Adjuvants; WeedSeeker®

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Herbicidas na agricultura: Status, desafios e perspectivas.

O advento de plantas geneticamente modificadas resistentes a herbicidas foi um dos grandes marcos na história do uso de herbicidas na agricultura. A tecnologia foi prontamente aceita pelos agricultores com a proposta de promover de forma simples o manejo de plantas daninhas e aumentar a eficácia de controle pelos produtos aplicados (MARTINEZ-GHERSA; WORSTER; RADOSEVICH, 2003).

Além disso, a introdução dessa biotecnologia também promoveu mudanças nas práticas de produção de algumas culturas. As plantas resistentes a herbicidas impulsionaram o aumento de áreas com plantio direto ou cultivo mínimo do solo (YOUNG, 2009).

De acordo com Fernandez-Cornejo, Wechsler e Livingston (2014), nos Estados Unidos, onde teve início a introdução de plantas de soja [*Glycine max* (Merr.) L.] resistente ao herbicida glyphosate, houve aumento significativo nos hectares plantados com soja, passando de 17% em 1997 para 68% em 2001 e, posteriormente para 93% em 2010.

Por outro lado, as hipóteses de que tais mudanças nos sistemas de produção de culturas de grande impacto econômicos aumentaram a dependência dos agricultores pelo controle químico e, principalmente, de uso de herbicidas específicos para o manejo de plantas daninhas referenciado por Radosevich, Ghera e Comstock (1992) se confirmaram.

Ainda de acordo com estes autores, a integração de culturas resistentes a herbicidas também pode resultar em maior uso de herbicidas não seletivos, pois permite aos produtores mais opções de mistura de tanque entre herbicidas para aplicação nos estádios finais de crescimento dos cultivos, conseqüentemente, pode aumentar as chances de que o movimento de herbicidas para fora das áreas-alvo possa danificar culturas não tolerantes e outras vegetações sensíveis.

Isto também inclui a possibilidade de antagonismo e incompatibilidades físico-químicas devido a mistura de tanque entre herbicidas. A introdução de novos cultivos

resistentes a dicamba e 2,4-D, se aprovados, resultará no uso destes herbicidas em mistura de tanque com glyphosate (DAVIS, 2012), cletodim e outros. Underwood et al. (2016) já verificaram efeito antagônico no controle de plantas daninhas com algumas destas misturas.

2. Deriva de herbicidas e seus impactos

É fato que os herbicidas são importantes ferramentas para o controle de plantas daninhas na agricultura. Entretanto, o mesmo nível de importância deve ser dado a deriva que possa ocorrer em cada aplicação de herbicidas. A deriva de herbicidas durante a aplicação é uma fonte de contaminação ambiental que tem potenciais impactos tanto na saúde humana como também para a plantas não-alvo, animais e outros recursos naturais (PIMENTAL et al., 1991; LEACH; MUMFORD, 2008).

De acordo com Matthews (2008), a deriva de herbicidas pode ser classificada como deriva de vapor e deriva de partículas. A deriva de vapor ocorre quando as moléculas do herbicida que se estabeleceram previamente em uma área aplicada se deslocam para o lado de fora da zona de tratamento como vapor. Isto ocorre apenas para alguns ingredientes ativos semi-voláteis e quando as condições meteorológicas são propícias à volatilização (temperaturas acima de 30°C, umidade relativa do ar menor que 50% e ventos ausentes ou superiores a 10 km.h⁻¹. Já a deriva de partículas é provocada pelo movimento de arraste de gotas pela ação do vento e pela deposição de gotas fora do alvo devido a técnica de aplicação. Este trabalho incidirá principalmente na deriva de partículas, portanto, quaisquer referências futuras à deriva irão fazer referência à deriva de partículas.

Van den Berg et al. (1999) realizaram um estimativa da quantidade de herbicida que pode ser perdido no ambiente quando as aplicações são feitas em condições inapropriadas do equipamento aplicador e condições meteorológicas. Os autores chegaram a conclusão de que até 50% do produto aplicado pode ser perdido via evaporação, escorrimento e interceptação por não-alvos. Adotando-se como exemplo os Estados Unidos, cujo crescimento no uso de herbicidas aumentou 240 milhões de quilos

entre 1996 e 2011 (BENBROOK, 2012), nota-se a necessidade de pesquisas e novas tecnologias para reduzir perdas econômicas devido à deriva de herbicidas.

Não obstante, ainda há o aumento dos riscos de contaminação humana, ambiental e outros organismos não-alvos em função do uso progressivo dos herbicidas. De acordo com Wallace e Bellinder (1992), a medida que o uso de herbicidas aumentou, a conscientização pública dos riscos também aumentaram, dessa forma impulsionando a demanda por inovações no manejo de plantas daninhas e novas tecnologias de aplicação.

3. Tecnologia de aplicação de herbicidas

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é um dos mais multidisciplinares campos dentro da agricultura, uma vez que se reporta ao controle de insetos e ácaros, de agentes patogênicos e de plantas daninhas, que considera aspectos da biologia, química, engenharia, ecologia, sociologia, economia (FERREIRA, 2006) e, mais recentemente, da eletrônica e inteligência artificial.

Esta ciência pode ser definida como a correta colocação do produto fitossanitário no alvo, se necessário, na quantidade requerida, de maneira econômica e com o menor risco de contaminação humana e ambiental (MATUO, 1990).

A manutenção da produtividade e da rentabilidade de cultivos em escala comercial é muito dependente do uso de herbicidas. No entanto, seja na pulverização terrestre ou aérea, o sucesso no tratamento fitossanitário depende não somente de produtos de ação comprovada, mas também da tecnologia desenvolvida para sua aplicação (FRITZ et al., 2007; FRITZ et al., 2014; CARVALHO et al. 2016).

Visto o dinamismo e a complexidade que envolve o processo de aplicação de produtos fitossanitários (Figura 1), em que há numerosas oportunidades de perdas de ingrediente ativo (BRAZEE et al., 1991; EBERT; DOWNER, 2008; MERRITT et al., 1989; REICHARD, 1988), o maior desafio para se conseguir a resposta biológica esperada de

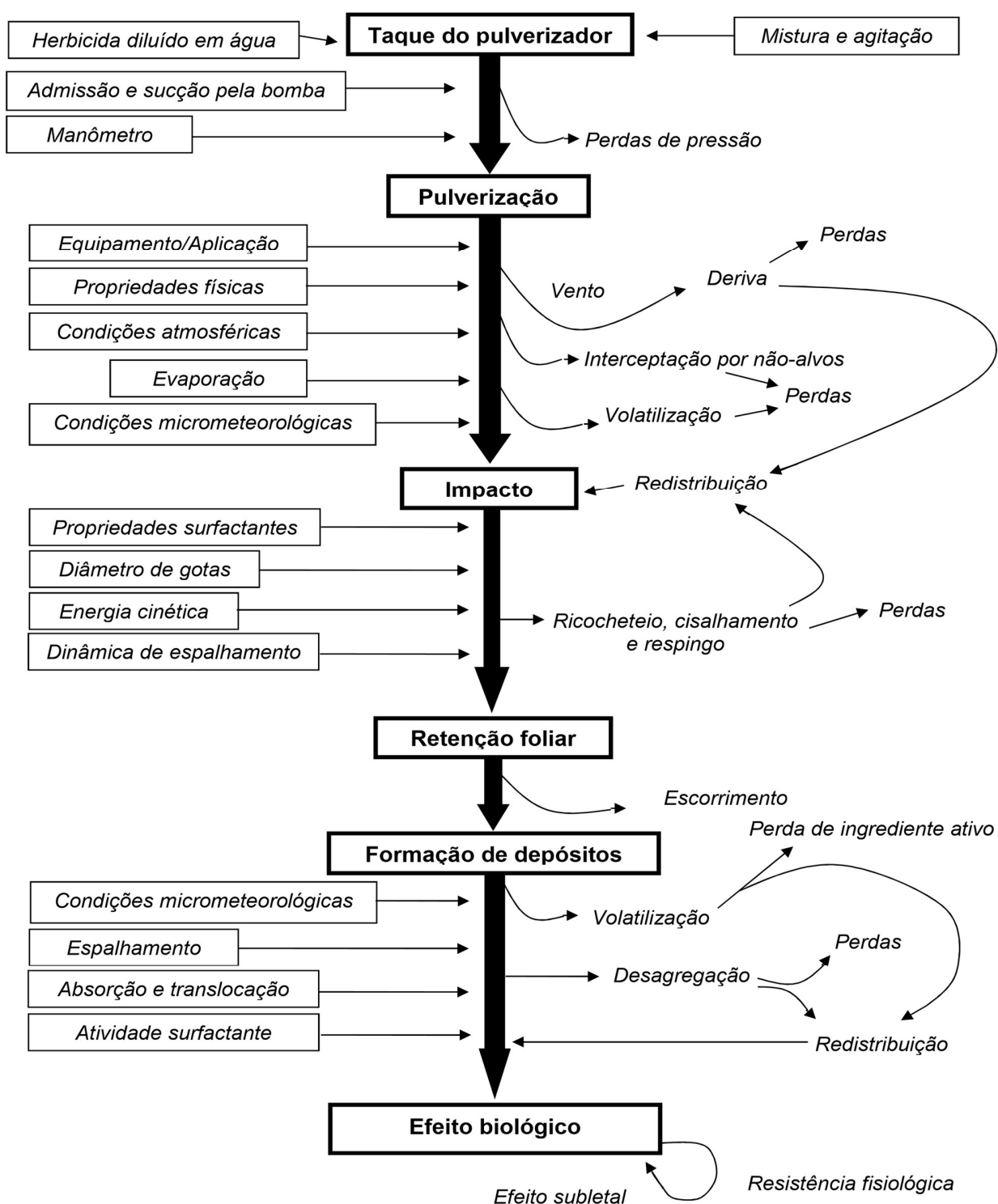


Figura 1. Roteiro do processo de aplicação de produtos fitossanitários do equipamento até o alvo biológico, adaptado de Ebert et al. (1999).

um herbicida é produzir o espectro de gotas ideal para cada mistura ou tipo de produto (CREECH et al., 2015a; CREECH et al., 2015b).

3.1. Espectro de gotas produzido por bicos hidráulicos

O processo de fragmentação de um líquido em gotas é chamado de pulverização. A gota formada durante este processo é o veículo de transporte do ingrediente ativo desde o momento em que se forma até atingir o alvo. As gotas podem ser formadas por pressão, forças centrífugas, cisalhamento de ar, vibração ou cargas eletrostáticas (PISC, 2002).

Este trabalho refere-se sobre às gotas produzidas por bicos hidráulicos, em que a pressão advinda da bomba do pulverizador pelo circuito hidráulico comprime a calda por meio de um pequeno orifício na ponta de pulverização. Neste processo, é elementar conhecer o espectro de gotas produzido pela ponta para reduzir o potencial de deriva das aplicações de herbicidas (TAYLOR et al., 2004).

A partir do espectro de gotas é possível prever os resultados de uma aplicação. Se produzidas gotas de diâmetro pequeno, aumenta-se as chances de melhor cobertura do produto aplicado sobre o alvo, mas estas gotas são mais facilmente arrastadas pelo vento. Já, gotas muito grossas podem mitigar os riscos de deriva pelo arraste de gotas com o vento, porém, diminuem a cobertura e podem prejudicar a retenção e a formação de depósitos nas folhas em função do escorrimento, ricocheteio e cisalhamento das gotas (SCHOU et al., 2012).

A formação de uma gota é resultado da interação entre a ponta de pulverização e a calda fitossanitária. Com a adição de adjuvantes a calda fitossanitária algumas alterações no espectro de gotas podem ocorrer (HEWITT et al., 2002; MILLER; BUTLER ELLIS, 2000). Essas alterações podem minimizar ou maximizar os riscos de deriva durante a aplicação de herbicidas.

3.1.1. A influência de adjuvantes agrícolas no espectro de gotas

Os adjuvantes são produtos que podem melhorar as propriedades físico-químicas da solução e, conseqüentemente a qualidade da aplicação (HAZEN, 2000; STICKER, 1992).

Os herbicidas em suas composições possuem ingrediente(s) ativo(s) e componentes inertes, estes “inertes” se caracterizam por adjuvantes com a finalidade de aumentar a eficiência da resposta biológica do herbicida na planta e, em alguns casos, reduzir a deriva nas aplicações (BUTLER ELLIS, TUCK, MILLER, 1997).

Os adjuvantes classificados como agentes redutores de deriva alteram a viscosidade da calda, de forma que o aumento da viscosidade comparada a calda sem adjuvante promove espectro de gotas com maior $Dv_{0.5}$. O $Dv_{0.5}$ ou diâmetro mediano volumétrico representa o diâmetro do tamanho das gotas de igual a menor valor compreendendo 50% do volume total de gotas pulverizadas (MATUO, 1990).

A partir do aumento do $Dv_{0.5}$ é possível reduzir o número de gotas com menores diâmetros, as quais são facilmente desviadas de suas trajetórias até o alvo pelo vento (HEWITT et.al., 1993). Estes adjuvantes redutores de deriva são tipicamente compostos de grandes polímeros com poliacrilamidas e polissacarídeos e certos tipos de gomas (TU; RANDALL, 2003).

A dose do adjuvante em mistura com a calda herbicida é um dos fatores que pode influenciar na sua capacidade de modificar o espectro de gotas. McMullan (1993) observou maior eficiência no controle de plantas daninhas com o aumento da concentração de adjuvante na calda, o que resultou em maior capacidade de retenção de herbicida nas plantas devido ao espectro de gotas adequado.

Zhu et al. (1997) observaram que o $Dv_{0.5}$ de gotas formadas por modelos de pontas de jato plano aumentou proporcionalmente com o aumento da dose do adjuvante a base poliacrilamida. Segundo Bode, Butler e Goering (1976), adjuvantes redutores de deriva diminuíram a deriva de gotas de 15 a 50% com uso em baixas concentrações e de 70 a 80% em altas concentrações. Os autores atribuíram a redução de deriva a capacidade dos adjuvantes de aumentar o $Dv_{0.5}$ pela alteração de viscosidade da calda.

3.2. Aplicação aérea de herbicidas

A aplicação aérea de produtos fitossanitários é uma prática agrônômica importante para propriedades rurais de grandes extensões. Principalmente devido ao alto rendimento operacional (ARAÚJO, 1993), que por sua vez permite realizar o tratamento fitossanitário de grandes áreas nas condições meteorológicas consideradas recomendadas para aplicação (FAO, 2002).

Por outro lado, a aplicação aérea apenas é vantajosa quando realizada dentro de critérios técnicos bem definidos, pois os impactos ambientais de deriva nas aplicações podem ser desastrosos. De acordo com uma série de estudos envolvendo experimentos de campo com aplicação aérea, concluiu-se que a deriva está diretamente relacionada com o espectro de gotas formado no processo de pulverização (HEWITT, 2002).

Isto posto, Sayles, Birchfield e Ellenberger et al. (2004) e Kosusko et al. (2006) propuseram a criação de programas de teste de tecnologias e metodologias destinadas a reduzir os riscos de deriva em aplicações aéreas. A iniciativa foi reconhecida pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana, que aderiu ao programa com o objetivo "alcançar uma melhor proteção ambiental e da saúde humana por meio da redução de deriva com a aceleração da aceitação e utilização de tecnologias de aplicação melhoradas e rentáveis" (EPA, 2006).

Nas aplicações aéreas de herbicidas as pontas de pulverização de energia hidráulica são as mais utilizadas, as quais formam um jato plano e geralmente trabalham com pressões entre 100 e 400 kPa para aplicação de volumes de calda entre 50 e 100 L ha⁻¹. A formação de gotas com estes modelos de pontas é bastante desuniforme, dificultando muitas vezes uma aplicação eficiente devido ao potencial de deriva (CUNHA et al., 2004; CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

Portanto, torna-se necessária a realização de protocolos, procedimentos operacionais padrão e avaliações com validade científica de pontas, misturas de tanque entre adjuvantes e herbicidas ou quaisquer outras tecnologias que possam melhorar a qualidade de aplicação (FRITZ; HOFFMANN; BAGLEY, 2012).

3.3. Pulverizadores inteligentes para aplicação localizada

Estudos demonstraram que o uso excessivo de produtos fitossanitários resulta em resíduos químicos em alimentos e contaminação do ar e solo (GRISSE; DICKEY; SCHULZE, 1989; GIL; SINFORT, 2005). A dependência de produtos fitossanitários para se atingir maiores produtividades em cultivos comerciais também levantou questionamentos sobre o uso ineficiente destes produtos (PIMENTEL et al., 1991; LEACH; MUMFORD, 2008).

De acordo com Hong, Minzan e Zhang (2012) há três padrões gerais de técnicas de aplicação: aplicação em área total, em faixas e localizada (Figura 2).

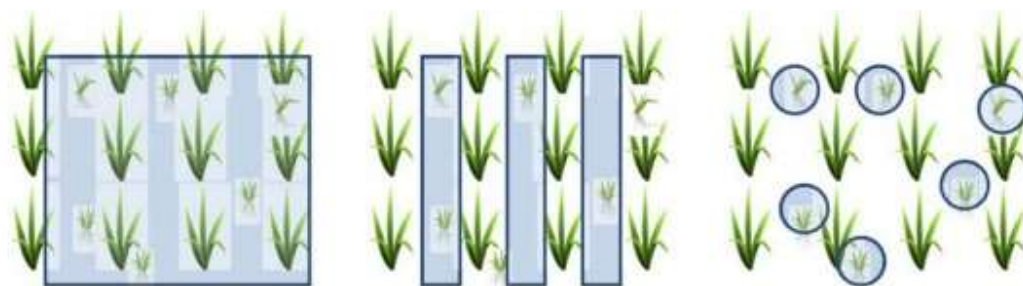


Figura 2. Na imagem, da esquerda para a direita, tem-se a demonstração da aplicação em área total, em faixas e localizada.

No método de aplicação em área total o produto fitossanitário é aplicado independentemente de haver alvos na área tratada, caracterizando desperdício e poluição do solo. De acordo com Law (2001), este método pode apresentar perdas entre 60 e 70% de produto.

Na aplicação em faixas apenas regiões selecionadas são tratadas. De acordo com Nethand, Balvoll e Holmoy (1993) e Niazmand, Shaker e Zakerin (2008), o tratamento fitossanitário em faixas pode reduzir o uso de herbicidas e impor efeitos ambientais mínimos. Campos et al. (2014) verificaram que a aplicação em faixas de inseticidas para controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho foi eficaz e permitiu a redução de deriva nas aplicações.

Na aplicação localizada realizada por pulverizadores inteligentes tem-se um sistema integrado de sensores de detecção de alvos, métodos analíticos e dispositivos de aplicação (PETEINATOS et al., 2014). Brown et al. (2008) comparou a aplicação convencional com a localizada em função dos depósitos de calda no solo proveniente do escoamento das aplicações. Os autores verificaram que na aplicação localizada houve redução de 41% no depósito de calda no solo.

Tian, Reid e Hummel (1999) desenvolveram um sistema automático de aplicação localizada de herbicidas, em que várias câmeras são usadas para coletar imagens no campo. As plantas daninhas são separadas das plantas cultivadas e com base no número e no tamanho médio de plantas daninhas são tomadas as decisões de aplicação localizada. Os resultados deste estudo mostraram economia 48% de herbicida.

Com o desenvolvimento de técnicas de detecção em sistemas de aplicação automática, a aplicação localizada realizada com pulverizador costal manual pode ser substituída. Esta é uma abordagem eficiente para se discutir as questões de redução de resíduos químicos no ambiente, melhoria das condições dos trabalhadores no campo e aumento do rendimento e qualidade do tratamento fitossanitário.

3.4. Desempenho operacional de pulverizadores e controle estatístico de qualidade

De acordo com Baio et al. (2004), o pulverizador mais adequado para o tratamento fitossanitário é aquele que se adapte as necessidades da propriedade. Visto que o controle de plantas daninhas por “catação” ou “repasse” é um processo trabalhoso e de alto custo, é de primordial importância a análise operacional e econômica dos equipamentos em uso (MATUO, 1990).

A eficiência operacional dos equipamentos aplicadores é avaliada pela associação entre a velocidade de deslocamento do pulverizador, largura da faixa de aplicação, tempo de manobra, distância percorrida para cada reabastecimento, volume de aplicação, velocidade no deslocamento para cada reabastecimento, capacidade do tanque do pulverizador e o tempo gasto para o reabastecimento do tanque (MATUO, 1990; VEIGA, 2004).

Outros métodos como o controle estatístico de qualidade (CEQ) ou controle estatístico de processo (CEP) também podem ser explorados para complementar avaliação de máquinas e implementos agrícolas durante o processo produtivo. Um processo pode ser definido como qualquer combinação de mão-de-obra, matéria-prima, métodos, medição, máquinas e ambiente, que colaborem e interagem para alcançar a qualidade de determinado produto, serviço ou operação (SAMOHYL; ALVES, 2005).

Dada a importância da manutenção e a melhoria da qualidade para o sucesso de qualquer sistema produtivo, avaliar as operações mecanizadas na agricultura se faz necessário devido aos elevados índices de variabilidade de fatores não controláveis (VOLTARELI, 2013).

Apesar de não ser usual para pulverizadores, a partir do CEQ é possível avaliar as características quanti-qualitativas do processo de aplicação, assim como o comportamento das operações desempenhadas levando em consideração os limites de especificações estipulados (WESTERN ELETRIC, 1956).

Neste trabalho, foram avaliados dois pulverizadores durante o processo de aplicação localizada de herbicidas em plantas daninhas presentes na entrelinha da cana, em que foi aplicado o CEQ para os dados de capacidade de campo efetiva e volume de calda herbicida gasto.

Espera-se com esta pesquisa atender às demandas de um nicho do agronegócio brasileiro por eficácia, rendimento operacional, economicidade e respeito ao meio ambiente e a saúde humana, poupando recursos naturais e financeiros, resultando em possíveis divisas que poderão ser revertidas ao desenvolvimento nacional.

Referências

ARAÚJO, E. C; GONTOW, M. **Estudo do mercado da aviação agrícola**. Botucatu: Agrotec; Embraer, 1993. Não paginado.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R.; BALASTREIRE, L. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Engenharia Agrícola**. v. 24, n. 2, p. 355-363, 2004.

BENBROOK, C. M. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the US - the first sixteen years. **Environmental Science European**. v. 24, p. 1-13, 2012.

BODE, L. E.; BUTLER, B. J.; GOERING, C. E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type, and nozzle pressure. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 19, n. 2, p. 213-218, 1976.

BRAZEE, R.; REICHARD, D.; BUKOVAC, M.; FOX, R. A partitioned energy transfer model for spray impaction on plants. **Journal of Agriculture Engineers Research**. v. 50, p.11-24, 1991.

BROWN, D. L.; GILES, D. K.; OLIVER, M. N.; KLASSEN, P. Targeted spray technology to reduce pesticide in runoff from dormant orchards. **Crop Protection**. v. 27, n. 3, p. 545-552, 2008.

BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**. v. 16, n. 1, 1997.

CAMPOS, H. B. N.; FERREIRA, M. C.; COSTA, L. L.; DECARO JUNIOR, S. T.; LASMAR, O. Localized application of insecticide combined with fertilizer on corn controls *Spodoptera frugiperda* (Smith) and reduces spray drift. **International Journal of Agricultural Research**. v. 9, p. 200-209, 2014.

CARVALHO, F. K.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; KRUGER, G. R. Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in Brazil. **Engenharia Agrícola**. v. 36, n. 6, p. 1118-1125, 2016.

CREECH, C. F. HENRY, R. S.; WERLE, R.; SANDELL, L. D.; HEWITT, J.; KRUGER, G. R. Performance of postemergence herbicides applied at different carrier volume rates. **Weed Technology**. v. 29, n. 3, p. 611-624, 2015a.

CREECH, C. F. HENRY, R. S.; FRITZ, B. K.; KRUGER, G. R. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. **Weed Science Society of America**. v. 29, p. 298-310, 2015b.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 5, p. 334- 348, 2001.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p. 977-985, 2004.

DAVIS, V. M. Integrating 2,4-D and dicamba resistant soybean into Wisconsin cropping systems. **Wisconsin Crop Management**. v. 51, n. 1, p. 36-37, 2012.

EBERT, T.; DOWNER, R. Insecticide application: the dose transfer process. **Encyclopedia of Entomology**. p. 1958-1974, 2008.

EPA. 2006. Pesticide spray drift reduction technologies: Verification and incentives for use. Washington, D.C.: **U.S. Environmental Protection Agency**. Available at: www.epa.gov/etop/forum/problem/progressreports/pest-spray-9-15-06.html.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural pesticide sprayers. **Food and Agriculture Organization**, v. 4, p. 59, 2002.

FERNANDEZ-CORNEJO, J.; WECHSLER, S. J.; LIVINGSTON, M. Genetically Engineered Crops in the United States. **U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service** ERR-162, 2014

FERREIRA, M.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.CM. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Prol – Editora Gráfica, 2006. v.1, p. 293 - 303.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; MARTIN, D. E.; THOMSON, S. J. Aerial application methods for increasing spray deposits on wheat heads, **Applied Engineer. Agriculture**. v. 23, n. 6, p. 709-715, 2007.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, C. W.; BAGLEY, E. Effects of Formulated Glyphosate and Adjuvant Tank Mixes on Atomization from Aerial Application Flat Fan Nozzles. **Pesticide Formulations and Delivery Systems**. 2012. Available online at www.astm.org DOI:10.1520/STP104451

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; KRUGER, G. R.; HENRY, R. S.; HEWITT, A.; CZACZYK, Z., Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization Sprays**. v. 24, n. 2, p. 181-192, 2014.

GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. **Atmospheric Environment**. v. 39, n. 28, p. 5183-5193, 2005.

GRISSE, R. D.; DICKEY, E. C.; SCHULZE, L. D. The cost of misapplication of herbicides. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 5, n. 3, p. 344-347, 1989.

HAZEN, J. L. Adjuvants - Terminology, Classification, and Chemistry. **Weed Technology**. v. 14, n. 4, p. 773-784, 2000.

HEWITT, H. J., HUDDLESTON, E. W.; SANDERSON, R.; ROSS, J. B. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pest Management Science**. v. 37, n. 2, p. 209-211, 1993.

HEWITT, A. J.; D. JOHNSON, R.; FISH, J. D.; HEMANSKY, C. G.; VALCORE, D. L. Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology Chemistry**. v. 21, n. 3, p. 648-658, 2002.

HONG, SUN.; MINZAN, L.; ZANG, Q. Detection system of smart sprayers: Status, challenges and perspectives. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**. vol 5, n 3, p. 481-495, 2012.

KOSUSKO, M. K.; BIRCHFIELD, B. N.; HEWITT, A. Development of a test plan to verify pesticide drift reduction technologies. **Transaction American Society of Agricultural Engineer Paper No. 061010**. St. Joseph, Mich. ASABE, 2006.

LAW, E. Agricultural electrostatic spray application: A review of significant research and development during the 20th century. **Journal of Electrostatics**. v. 51, p. 25-42, 2001.

LEACH, A. W.; MUMFORD, J. D. Pesticide environmental accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications. **Environmental Pollution**. v. 151, n. 1, p. 139-147, 2008.

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

MARTINEZ-GHERSA, M. A.; WORSTER, C. A.; RADOSEVICH, S. R. Concerns a weed scientist might have about herbicide-tolerant crops: a revisitation. **Weed technology**. v. 17, p. 202- 210, 2003.

MATTHEWS, G. **Pesticides: Health, Safety and the environment**: John Wiley & Sons, 2008.

MCMULLAN, P. M. Emulsifier surfactant-oil combinations with tralkoxydim. **Journal Plant Science**. v. 73, n. 4, p. 1275-1281, 1993.

MERRITT, C.; GRAHAM, B.; DAR, W.; JAVED, Z. Comparison of spray losses in laboratory and field situations. **Aspect of Applied Biologist**. v. 21, p.137-146, 1989.

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Surrey, v. 19, p. 609-615, 2000.

NETLAND, J.; BALVOLL, G.; HOLMØY, R. Band spraying, selective flame weeding and hoeing in late white cabbage PART II. In: Symposium on engineering as a tool to reduce pesticide consumption and operator hazards in Horticulture 372, 235-244, 1993.

NIAZMAND, A. R.; SHAKER, M.; ZAKERIN, A R. Evaluation of different herbicide application methods and cultivation effect on yield and weed control of corn (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomy**. v. 7, n. 4, p. 314-320, 2008.

PETEINATOS G. G.; WEIS. M.; ANDÚJAR, D.; AYALA, V. R.; GERHARDS, R. Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection. **Pest Management Science**. v. 70, p. 190 –199, 2014.

PIMENTEL, D.; MCLAUGHLIN, L.; ZEPP, A.; LAKITAN, B.; KRAUS, T.; KLEINMAN, P. Environmental and economic effects of reducing pesticide use. **BioScience**. v. 41, n. 6, p. 402-409, 1991.

PISC. Spray drift management: principles, strategies and supporting information: CSIRO Publishing, 2002.

RADOSEVICH, S. R.; GHERSA, C. M.; COMSTOCK, G. Concerns a weed scientist might have about herbicide-tolerant crops. **Weed Technology**. v. 6, p. 635-639, 1992.

REICHARD, D. L. Drop formation and impaction on the plant. **Weed Technology**. v. 2, p. 82-87, 1988.

SAMOHYL, R. W.; ALVES, C. C. O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM. **Revista UNIVILLE**. v. 10, n. 2, p. 72-80, 2005.

SAYLES, G.; N. BIRCHFIELD.; ELLENBERGER, J. US EPA's research proposal for encouraging the use of spray drift reduction technologies. In **Proc. Int. Conf. on Pesticide Application for Drift Management**, 204-209. Waikoloa, Hawaii. 2004 Publisher: Washington State University. Available at: pep.wsu.edu/drift04/proceedings.html.

SCHOU, W.; FORSTER, W.; MERCER, G.; TESKE, M.; THISTLE, H. Building canopy retention into AGDISP: preliminary models and results. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 55, p. 2059- 2066, 2012.

STICKLER, W. E. The importance of adjuvants to the agricultural chemical industry. In: FOY, C.L. (Ed.). **Adjuvants for Agrochemicals**. New York: Marcell Dekker. cap. 22, p. 247-249, 1992.

TAYLOR, W. A.; WOMAC, A. R.; MILLER, P. C. H.; TAYLOR, B. P. An attempt to relate drop size to drift risk. Pages 210–223 in **Proceedings** of the International Conference on Pesticide Application for Drift Management. Pullman, WA: Washington State University, 2004.

TIAN, L.; REID, J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 42, n. 4, p. 893-900, 1999.

TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M. et al. **Weed control methods handbook the nature conservancy**. Davis: TNC. p. 1-24, 2003.

UNDERWOOD, M. G.; SOLTANI, N.; DAVID, C.; DARREN, H.; ROBINSON, E.; VINK, J. P.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. The addition of dicamba to post applications of quizalofop-p-ethyl or clethodim antagonizes volunteer glyphosate-resistant corn control in dicamba-resistant soybean. **Weed Technology**. v. 30, n. 3, p. 639-647, 2016.

VAN DEN BERG, F.; KUBIAK, R.; BENJEY, W.; MAJEWSKI, M.; YATES, S.; REEVES, G.; SMELT, J.; VAN DER LINDEN, A. Emission of pesticides into the air. Fate of Pesticides in the Atmosphere: **Implications for Environmental Risk Assessment: Springer**. p. 195-218, 1999.

VEIGA, C. M. **Modelo computacional para análise operacional e econômica da aplicação de herbicidas na cultura da soja**, 2004. 71p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

VOLTARELLI, MURILO APARECIDO. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 168 f. Tese de Doutorado em Agronomia - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

WALLACE, R. W.; BELLINDER, R. R. Alternative tillage and herbicide options for successful weed control in vegetables. **Horticulture Science**: a publication of the American Society for Horticultural Science 27, 1992.

WESTERN ELECTRIC COMPANY. Statistical quality control handbook. New York: Mack Printing Company, 1956. p. 4-150.

YOUNG, B. G. Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-resistant crops. **Weed Technology**. v. 20, p. 301-307, 2009.

ZHU, H.; DEXTER, R. W.; FOX, R. D.; REICHARD, D. L.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E.
Effects of polymer composition and viscosity on droplet size of recirculated spray
solutions. **Journal Agricultural Engineer Resource**. v. 67, p. 35-45, 1997.

CAPITULO 2 - EFEITOS DE ADJUVANTES POLÍMEROS EM MISTURA COM PICLORAM E 2,4-D NA DERIVA SOB CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO AÉREA

RESUMO - A indústria de adjuvantes cresce a partir da premissa que seus produtos reduzem o risco de deriva nas aplicações de produtos fitossanitários. Adjuvantes a base de polímeros são usados como anti-deriva em aplicações de herbicidas em geral, porém, poucos estudos são realizados para avaliar o efeito destes produtos no espectro de gotas. Objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos de adjuvantes polímeros em mistura de tanque com 2,4-D e picloram na deriva sob condições simuladas de aplicação aérea. O estudo foi conduzido em túnel de vento de alta velocidade. Foi usado o herbicida picloram e 2,4-D em mistura com adjuvantes a base de polímeros, o volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ com o bico de pulverização CP11 – 8008 na pressão de 276 kPa e vento constante de 250 km h⁻¹. O espectro de gotas foi analisado pelo sistema de difração laser e os dados analisados pelo programa estatístico SAS (PROC GLIMMIX) por meio da análise de regressão simples. Com base nos resultados de espectro de gotas observou-se que o diâmetro mediano volumétrico aumentou com uso dos adjuvantes, porém, sem alteração na classe de gotas. Os adjuvantes quando em mistura em tanque com o herbicida também aumentaram a desuniformidade de gotas produzidas. A análise de regressão quadrática demonstrou que houve aumento no potencial de deriva devido a maior percentagem de gotas menores que 100 micrômetros de diâmetro. Com estes resultados concluiu-se que os adjuvantes a base de polímero não devem ser recomendados com redutores de deriva em aplicações aéreas de 2,4-D e picloram. A importância de se compreender o espectro de gotas para mitigação do risco de deriva é discutida.

PALAVRAS-CHAVE: herbicidas, tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, controle de plantas daninhas em pastagem.

CHAPTER 2 – EFFECTS OF POLYMERS ADJUVANT TANK MIXTURES WITH PICLORAM AND 2,4-D ON SPRAY DRIFT UNDER AERIAL APPLICATION

ABSTRACT - The adjuvant industry grows from the premise that its products can reduce the risk of spray drift in applications of plant protection products. Polymer adjuvants have been used as anti-drift in general herbicide applications, however, few studies have been done to evaluate the effect of these products on the droplet size spectrum under aerial application conditions. The aim of this study was to evaluate the effects of polymeric adjuvants tank mixtures with picloram and 2,4-D on spray drift under aerial application conditions. The study was conducted in a high-speed wind tunnel. The herbicide picloram and 2,4-D were mixed with polymer-based adjuvants. The spray volume of 50 L ha⁻¹ was determined with the CP11-8008 nozzles tips at pressure of 276 kPa and a constant wind of 250 km h⁻¹. Droplet size spectra was analyzed by the laser diffraction system and the data analyzed by the SAS (PROC GLIMMIX) statistical program using simple regression analysis. The results show that the volumetric median diameter increased due to the use of the adjuvants, however, with no change in droplet class of droplets. Adjuvants tank mixtures mix herbicide increased the drift potential as a function of the percentage of droplets less than 100 micrometers of diameter and the lack of uniformity of the droplets produced. These results suggest that polymer are not recommended to reduce spray drift from picloram and 2,4-D under aerial applications. The importance of understanding droplet spectrum for drift control was discussed.

KEY WORDS: herbicides, pesticide application technology, weed control on pasture.

1. INTRODUÇÃO

Deriva pode ser definida como o movimento de gotas contendo produtos fitossanitários para locais fora da área aplicada, durante e após a aplicação (EPA, 2001). Baseado em uma série de estudos envolvendo experimentos de campo com aplicação aérea, foi concluído que o espectro de gotas formado no processo de pulverização tem relação direta com a deriva (HEWITT, 2002).

A análise do espectro de gotas produzido por modelos de pontas de pulverização é importante porque afeta o depósito de gotas no alvo (TAYLOR et al., 2004) e influencia o potencial de deriva durante as aplicações de herbicidas (WHISENANT et al., 1993, YATES, KIRK e BODE, 1976). De acordo com Campos et al. (2011) as principais variáveis a serem consideradas são o diâmetro mediano volumétrico, o coeficiente de uniformidade e a percentagem de gotas menores do que 100 micrômetros de diâmetro.

O processo físico de conversão de líquidos em gotas é influenciado pelas propriedades físicas das formulações (HEWITT et al., 1993; HANKS, 1995; HOFFMANN et al., 1998; HEWITT et al., 2002), assim como pelo volume de calda, ponta de pulverização (BOUSE, 1994; HOFFMANN and KIRK, 2005; KIRK, 2007), pressão de trabalho (GILES, 1997) e condições meteorológicas no momento das aplicações (KIRK, 2007).

Pesquisas apontam que os adjuvantes agrícolas podem provocar alterações nas propriedades físico-químicas da calda fitossanitária e, conseqüentemente, no espectro de gotas (MILLER e BUTLER ELLIS, 2000). Isto posto, há hipótese que os adjuvantes podem mitigar os riscos de deriva nas aplicações aéreas de herbicidas.

Com poucos estudos que comprovem o potencial anti deriva dos adjuvantes a base de polímeros, objetivou-se nesta pesquisa avaliar o comportamento de adjuvantes polímeros em mistura em tanque com 2,4-D e picloram na espectro de gotas, sobretudo, no potencial de deriva de gotas em condições simuladas de uma aplicação aérea.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalações e condições experimentais

O espectro de gotas foi avaliado pelo método de difração laser em túnel de vento de alta velocidade no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos PAT LAB (*Pesticide Application Technology Laboratory, West Central Research and Extension Center*) da Universidade de Nebraska-Lincoln, na cidade de North Platte, Nebraska, EUA.

O túnel de vento caracteriza-se por um circuito aberto, com uma seção de saída de 0,3 m x 0,3 m, equipado com motor capaz de produzir ventos com velocidade de até 300 km h⁻¹. O túnel de vento contém uma secção de trabalho transparente (1,2 m de altura, 1,2 m de largura e 6 m de comprimento) em que uma secção montada com uma lança de pulverização foi utilizada como suporte para o bico de pulverização. Um purificador de ar é usado para filtrar os produtos fitossanitários pulverizados. O túnel de vento também é equipado com um alisador de fluxo para produzir fluxo de ar laminar constante, por meio da seção de trabalho do túnel (Figura 1).



Figura 1. Foto da estrutura do túnel de vento que simula uma aplicação área de produtos fitossanitários.

Utilizou-se o sistema de dimensionamento de partículas por difração laser, modelo Sympatec HELOS (Sympatec Inc., Clausthal, Alemanha), para medir o espectro de gotas pulverizadas a favor do vento (Figura 2). O aparelho é equipado com um laser He-Ne de 623 nm com uma lente R6 (conforme indicação do fabricante) capaz de analisar uma gama de gotículas com diâmetros entre 0,5 μm e 1750 μm .



Figura 2. Foto do sistema de dimensionamento de partículas por difração laser utilizado para leitura do diâmetro mediano volumétrico, coeficiente de uniformidade e percentagem de gotas menores do que 100 micrômetros de diâmetro.

O bico de pulverização utilizado foi CP11 8008 a 276 kPa de pressão, com corpo do bico orientado na posição de 0° de deflexão. A distância do bico até o raio laser foi de 85 cm, respeitando os parâmetros propostos por Teske et al. (2001). A lança de pulverização que suporta o bico movimenta-se verticalmente, permitindo que todo o espectro de gotas aspergido seja analisado pelo feixe de laser. Porém, este procedimento é feito de modo que nenhuma gota tocasse o teto, as paredes ou o assoalho do túnel de vento antes de cruzar o laser

Cada repetição compreendia em um procedimento de pulverização durante 10 segundos, no qual o suporte do bico foi movimentado verticalmente para que todo jato aspergido fosse lido pelo feixe de laser. Para cada tratamento foram feitas 3 repetições. Entre cada tratamento avaliado foi pulverizado água

para limpeza do circuito.

As condições de temperatura e umidade relativa do ar durante o estudo foram de 20° C e 70%, respectivamente, consideradas adequadas para aplicação aérea de produtos fitossanitárias. Para atender as condições de uma aplicação aérea, foi usado vento constante de 250 km h⁻¹, simulando a velocidade de voo de uma aeronave Air Tractor.

2.2. Formulações avaliadas

Foram utilizados os adjuvantes a base de polímeros Array[®] (10,8 g L⁻¹), Border Xtra 8L[®] (2,5% v⁻¹v⁻¹), Strike Zone DF[®] (7,9 g L⁻¹), Reign LC[®] (0,3 mL L⁻¹) e Pro-Mate Accuracy[®] (0,3 mL L⁻¹). Os adjuvantes foram avaliados em mistura picloram + 2,4-D, produto comercial Grazon P + D[®] na dose de 4,68 L ha⁻¹. O herbicida sem mistura com adjuvantes foi considerado tratamento controle. Todas as doses estão conforme recomendado no rótulo dos produtos.

Cada um dos cinco adjuvantes também foram avaliados entre si em quadro doses diferentes, sendo uma a dose cheia e as demais doses inferiores às recomendadas. A Tabela 1 apresenta detalhes dos tratamentos abreviados.

Tabela 1. Tratamentos abreviados no estudo do efeito de adjuvantes polímeros com diferentes dosagens em mistura de tanque com herbicida no espectro de gotas sob condições simuladas de aplicação aérea.

Tratamentos*	Doses**			
	0,125%	0,25%	0,5%	1%
G + A	2,69 g	5,38 g	10,77 g	21,55 g
G + B	6,25 mL	12,5 mL	25 mL	50 mL
G + S	0,19 g	0,39 g	0,78 g	1,57 g
G + R	0,07 mL	0,14 mL	0,31 mL	0,62 mL
G + P	0,07 mL	0,14 mL	0,31 mL	0,62 mL
G	0,375 L			

*A primeira letra (G) significa o herbicida utilizado e a segunda letra define o adjuvante em mistura em tanque, sendo este identificado com a primeira letra do nome do produto comercial. **As doses foram baseadas para o volume de aplicação de 50 L ha⁻¹ em recipientes de 2 litros. A mesma dose do herbicida Grazon P + D[®] foi mantida para todos tratamentos. As doses de 1% significam as doses cheias recomendadas dos fabricantes e as doses de 0,5%, 0,25% e 0,125% significam as subdoses.

As doses do herbicida e adjuvantes foram baseadas para o volume de aplicação de 50 L ha⁻¹, comumente adotado em pulverizações aéreas de herbicidas em pastagens. Adicionou-se primeiro os adjuvantes em água e em seguida o herbicida. O pH da água utilizada nos tratamentos estava entre 6,4 a 6,7.

Foram utilizadas para cada tratamento recipientes de garrafas pet de dois litros. Antes de adicionar as doses dos adjuvantes e do herbicida nas garrafas, as mesmas foram verificadas com provetas graduadas e a mistura entre os produtos realizados em três beckers de um litro com auxílio de agitador magnético (Figura 3).



Figura 3. Fotos dos recipientes contendo 2 litros e do momento da realização da mistura entre os produtos com auxílio de beckers de 1 L para agitação magnética da solução.

2.3. Análises estatísticas

Os resultados obtidos para diâmetro mediano volumétrico, uniformidade de gotas e percentagem de gotas menores que 100 micrômetros foram submetidos a análise de variância com o programa estatístico SAS (PROC GLIMMIX). Para comparação de médias adotou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a determinação do efeito das doses dos adjuvantes no potencial de deriva, aplicou-se regressão quadrática aos valores encontrados

para a percentagem de gotas menores que 100 μm .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de espectro de gotas em túnel de vento de alta velocidade para os adjuvantes polímeros em mistura com herbicida são apresentados abreviados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores obtidos para o diâmetro mediano volumétrico ($Dv_{0.5}$), coeficiente de uniformidade de gotas (span relativo) e percentagem de gotas menores de 100 micrómetro de diâmetro ($\% <100 \mu\text{m}$) pela aplicação de picloram + 2,4-D em mistura com adjuvantes polímeros sob condições simuladas de aplicação aérea.

Tratamentos*	Espectro de gotas**		
	$Dv_{0.5}$	Span Relativo	$\% <100 \mu\text{m}$
G + P	220,97 a	2,48 a	26,02 a
G + S	217,57 a	2,02 b	21,66 b
G + B	214,83 a	1,73 c	19,37 c
G + A	205,71 b	2,05 b	23,56 ab
G + R	201,48 c	2,04 b	22,38 b
G	196,35 d	1,37 d	15,94 d

*A primeira letra (G) significa o herbicida usado e a segunda letra define o adjuvante em mistura, identificado com a primeira letra do nome do produto comercial. **Espectro de gotas encontrado para os adjuvantes polímeros Array[®], Border Xtra 8L[®], Strike Zone DF[®] (7,9 g L⁻¹), Reign LC[®] (0,3 mL L⁻¹) e Pro-Mate Accuracy[®] (0,3 mL L⁻¹) em doses recomendadas pelos respectivos fabricantes (doses cheias). Os adjuvantes foram avaliados em mistura de tanque com o herbicida picloram + 2,4-D, produto comercial Grazon P + D[®] na dose de 4,68 L ha⁻¹, conforme recomendado no rótulo do produto.

Com relação ao diâmetro mediano volumétrico ou $Dv_{0.5}$, verificou-se que todos adjuvantes aumentaram o $Dv_{0.5}$ quando comparados com o tratamento em que foi usado apenas o herbicida (Tabela 2). O $Dv_{0.5}$ representa o diâmetro do tamanho das gotas de igual a menor valor compreendendo 50% do volume total de gotas pulverizadas (MATUO, 1990).

Conhecer o $Dv_{0.5}$ da calda herbicida é fator determinante na eficácia de controle de plantas daninhas. Isto, pois, o espectro de gotas produzido por pontas de pulverização contribui diretamente para o depósito de gotas no alvo, assim como no potencial de deriva de herbicidas (TAYLOR et al., 2004).

Neste estudo, quando se acrescentou a calda herbicida aos adjuvantes polímeros Reign LC[®], Array[®], Border Xtra 8L[®], Strike Zone DF[®] e Pro-Mate Accuracy[®] aumentou-se o $Dv_{0.5}$ em 2,61%, 4,7%, 9,41%, 10,80% e 12,54%, respectivamente. Apesar de aumentar o $Dv_{0.5}$, as gotas formadas sem e com os adjuvantes não alteram a classe de tamanho de gotas, classificadas em gotas finas (106 a 235 μm) pela ASAE S572.1 (ASABE, 2009).

Gotas finas promovem boa cobertura quando comparadas com gotas grossas (RAMSDALE e MESSERSMITH, 2001). De acordo com Etheridge et al. (2001) e Feng et al. (2003), se tratando de herbicidas sistêmicos, por exemplo o picloram e 2,4-D utilizados neste estudo, gotas finas não são importantes para eficácia destes produtos. Porém, plantas daninhas arbustivas de difícil controle comumente encontradas em pastagens exigem alta cobertura de gotas mesmo quando aplicados herbicidas sistêmicos em função do risco de escorrimento devido a cerosidade da superfície foliar das plantas.

Na Figura 4 verifica-se que os adjuvantes Pro-Mate Accuracy[®], Strike Zone DF[®] e Border Xtra 8L[®] em doses menores alteraram o $Dv_{0.5}$ em menor intensidade. Já os polímeros Reign LC[®] e Array[®] em doses menores não têm efeito sobre o $Dv_{0.5}$.

Sobre o coeficiente de uniformidade de gotas ou span relativo, a Tabela 2 apresenta os resultados da mistura de polímeros ao herbicida. Nota-se que, quando comparados ao tratamento controle, todos adjuvantes em dose cheia distanciaram os valores do span relativo de um.

O coeficiente de uniformidade ou span relativo é definido como um valor adimensional indicativo da uniformidade do espectro do tamanho das gotas de pulverização analisadas pelo processo de difração laser. Assim como o $Dv_{0.5}$ representa o diâmetro do tamanho das gotas de igual a menor valor compreendendo 50% do volume total de gotas pulverizadas, os valores de $Dv_{0.1}$ e $Dv_{0.9}$ são os diâmetros de tamanho de gotas de valor igual ou inferior compreendendo 10 e 90%, respectivamente, do volume total de pulverização (MATUO, 1990). Logo, o coeficiente de uniformidade é definido como:

$$\text{Coeficiente de uniformidade} = D_{v0.9} - D_{v0.1} / D_{v0.5}$$

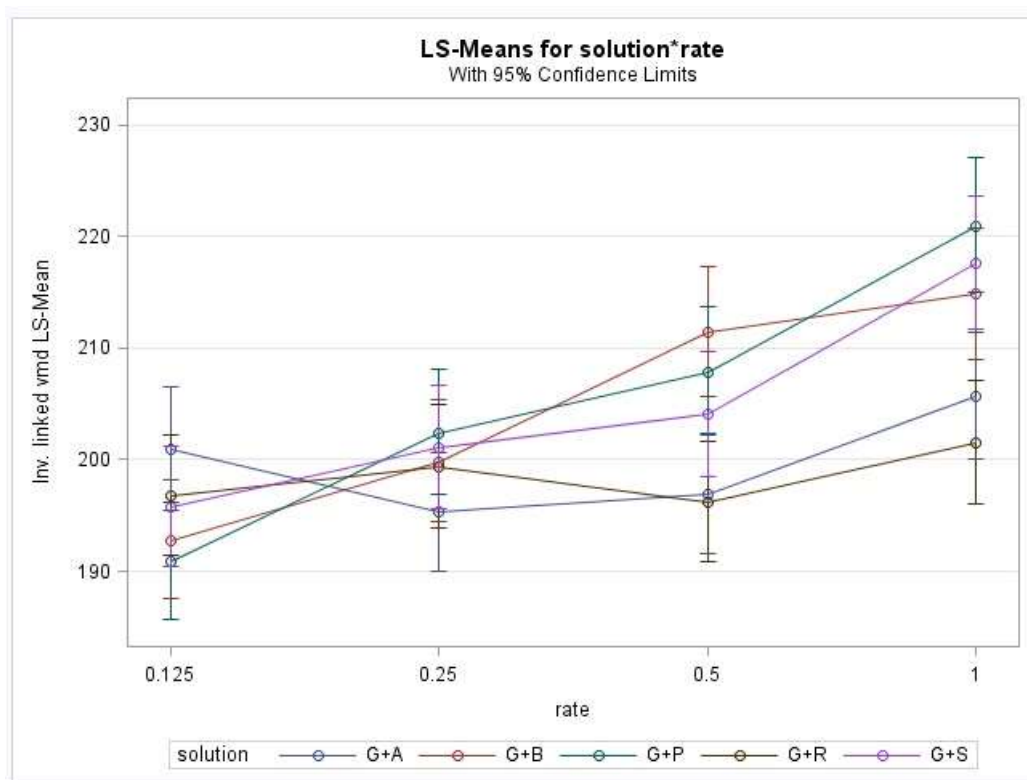


Figura 4. Efeito da redução das doses de adjuvantes polímeros no diâmetro mediano volumétrico de calda herbicida composta por picloram e 2,4-D.

Quanto mais próximo do número um os resultados para o coeficiente de uniformidade, mais uniformidade no espectro de gotas será obtido e, conseqüentemente, maior eficácia biológica do herbicida (CREECH, 2015). No entanto, de acordo com Costa et al. (2015) e Campos et al. (2014) são esperados os resultados encontrados para os polímeros avaliados devido a aumento nos valores de $D_{v0.5}$ (Tabela 2).

Em menores doses dos adjuvantes na calda herbicida notou-se melhora no coeficiente de uniformidade, uma vez que houve aproximação dos valores de span relativo para um (Figura 5). Visto a importância de se produzir gotas uniformes em aplicações aéreas (CARVALHO et al., 2016, SILVA, 2013, HOFFMANN et al., 2013, FRITZ et al., 2012), estes resultados sugerem a readequação das doses recomendadas pelos fabricantes dos adjuvantes estudados.

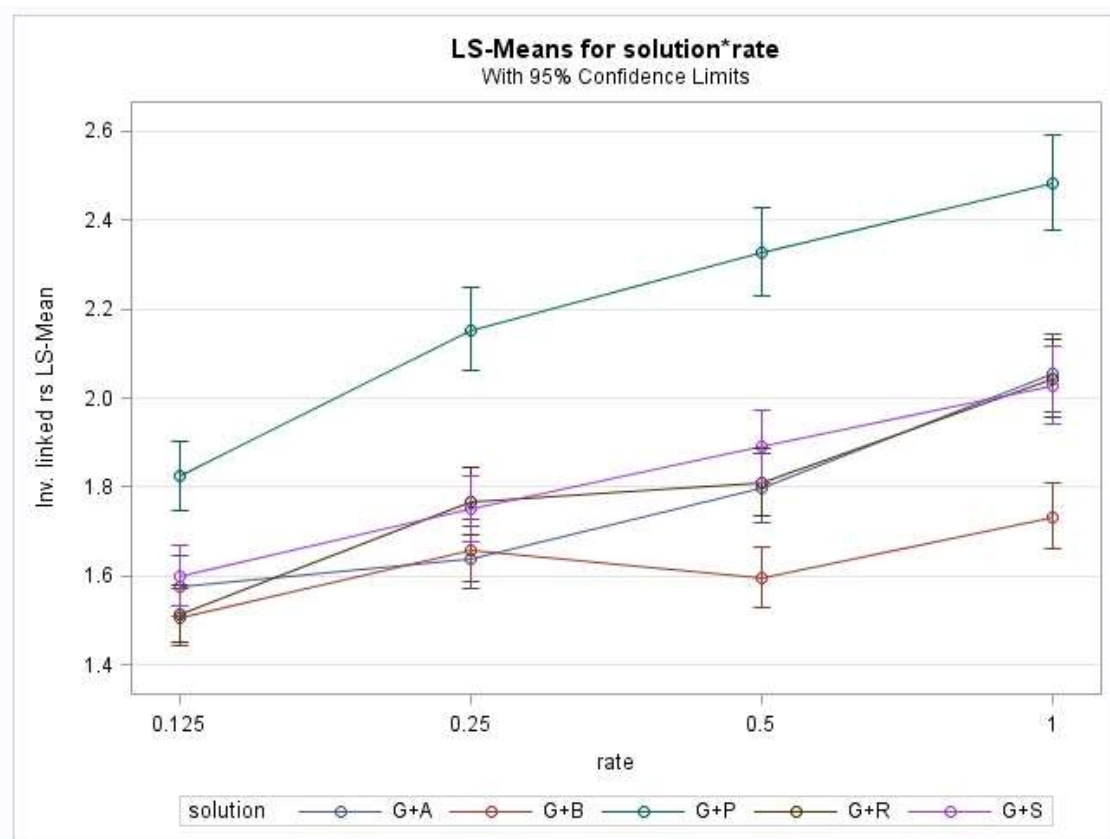


Figura 5. Efeito da redução das doses de adjuvantes polímeros no coeficiente de uniformidade de gotas em calda herbicida composta por picloram e 2,4-D.

Em consideração a percentagem de gotas menores que $100\ \mu\text{m}$, os resultados mostraram que os adjuvantes aumentaram o potencial de deriva quando em mistura de tanque com o herbicida. Quando comparado ao tratamento controle, a adição dos polímeros aumentou a percentagem de gotas menores que $100\ \mu\text{m}$ (Tabela 2). Tais gotas são consideradas de alto risco de deriva, pois, uma gota de $100\ \mu\text{m}$ pode deslocar-se 7,5 vezes mais longe do alvo do que uma gota de $500\ \mu\text{m}$ numa velocidade de vento de apenas $5\ \text{km h}^{-1}$ (BODE, 1987).

Bouse, Kirk, e Bode (1990) explicam que as pontas de pulverização hidráulicas, geralmente as mais utilizadas na agricultura, produzem gotas com diâmetro entre 10 e $1000\ \mu\text{m}$. Isto posto, para alguns pesquisadores as gotas menores que $200\ \mu\text{m}$ já são consideradas mais suscetíveis à deriva (ETHERIDGE et al. 1999), enquanto outros caracterizam como gotas de alto risco de deriva aquelas que têm menos de $150\ \mu\text{m}$ (YATES, COWDEN e AKESSON, 1985).

Espera-se dos adjuvantes comercializados com função de reduzir deriva que diminuam a percentagem de gotas menores que 100 μm . No entanto, os polímeros em mistura com herbicida não contribuíram com a redução do risco de deriva sob condições simuladas de aplicação aérea.

Por meio da análise de regressão quadrática, a figura 6 apresenta o efeito das doses dos adjuvantes polímeros Pro-Mate Accuracy[®], Strike Zone DF[®], Border Xtra 8L[®], Array[®] e Reign LC[®] em mistura em tanque com o herbicida Grazon P + D[®] na percentagem de gotas menores que 100 μm .

O aumento no potencial de deriva promovido pelos polímeros pode ser consequência do incremento no $Dv_{0.5}$ (Tabela 2). De acordo com Gardisser et al. (1999), o vento tem papel fundamental na formação de gotas em aplicações aéreas. Logo, quanto maiores as gotas formadas maior será o atrito destas com o vento e, portanto, maior a fragmentação em gotas menores que caracterizam a deriva.

Outros pesquisadores também já chegaram a conclusão que para muitos dos adjuvantes comercializados existe uma considerável distância entre o que é descrito na especificação técnica do rótulo e no posicionamento pelos seus fabricantes. Oliveira (2011) verificou em túnel de vento que simula condições de aplicação terrestre o efeito proporcionado por diferentes grupos de adjuvantes no espectro de gotas, bem como no potencial do risco de deriva. Dos seis adjuvantes especificados como redutores de deriva pelos seus respectivos fabricantes, apenas três realmente reduziram o potencial de deriva.

Contudo, com base nos resultados deste estudo os adjuvantes polímeros não contribuem para reduzir o risco de deriva quando em mistura de tanque com picloram e 2,4-D sob condições simuladas de aplicação aérea. Novos estudos devem ser realizados a campo para quantificação em condições não simuladas de aplicações aéreas.

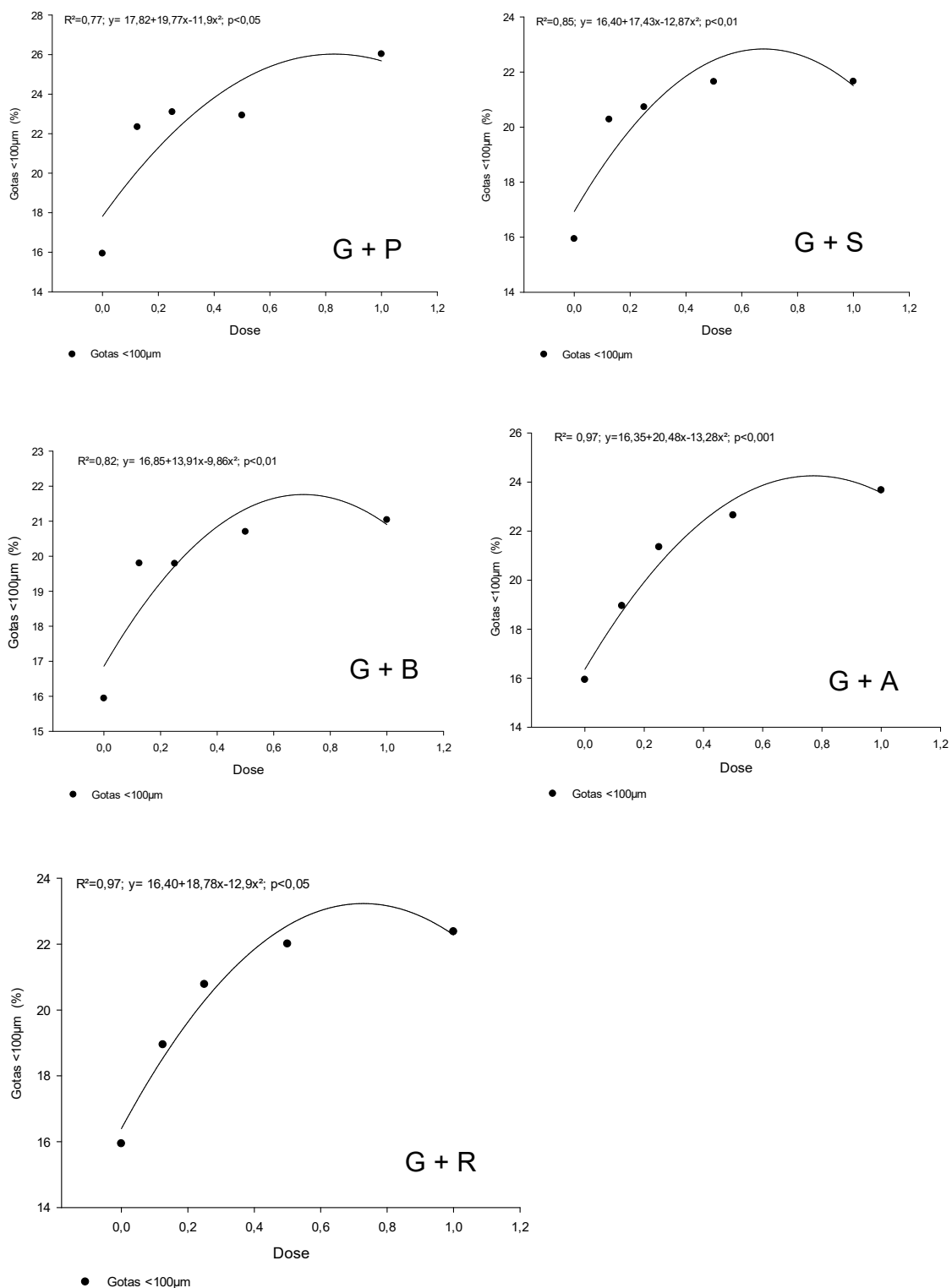


Figura 6. Efeito do aumento nas doses de adjuvantes polímeros Pro-Mate Accuracy® (G + P), Strike Zone DF® (G + P), Border Xtra 8L® (G + B) e Array® (G + A) e Reign LC® (G + R) em mista em tanque com o herbicida Grazon® na percentagem de gotas menores que 100 μm.

4. CONCLUSÃO

Os adjuvantes polímeros em mistura em tanque picloram e 2,4-D aumentaram o potencial de deriva em condições simuladas a aplicação aérea.

5. REFERÊNCIAS

ASABE S572.1. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, MI. 4, p. 1–3, 2009.

BODE, L. Spray application technology. **Methods of Applying Herbicides**, Champaign, IL: WSSA Monograph 4. p. 85-110, 1987.

BOUSE, L. F.; KIRK, I. W.; BODE, L. E. Effect of spray mixture on droplet size. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 33, p. 783–788, 1990.

BOUSE, L. F. Effect of nozzle type and operation on spray droplet size. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 37, n. 5, p. 1389-1400, 1994.

CAMPOS, H. B. N.; COSTA, L. L.; LASMAR, O.; LEMOS, R. E.; DECARO JUNIOR, S. T.; FERREIRA, M. C. Aspectos gerais e atuais da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: BUSOLI, A.C. et al. (Ed.). **Tópicos em Entomologia Agrícola IV**. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2011. p. 205 - 218.

CAMPOS, H. B. N., FERREIRA, M. C.; COSTA, L. L.; DECARO JÚNIOR, S. T.; LASMAR, O. Localized application of insecticide combined with fertilizer on corn controls *Spodoptera frugiperda* (Smith) and reduces spray drift. **International Journal of Agricultural Research**. v. 9, n. 4, p. 200-209, 2014.

CARVALHO, F. K.; ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; KRUGER, G. R. Blade angle effect on droplet size spectrum of rotary atomizers used in Brazil. **Engenharia Agrícola**. v. 36, n. 6, p. 1118-1125, 2016.

CREECH, CODY F. **Herbicide application technology impacts on herbicide spray characteristics and performance**. 205 f. Tese de Doutorado em Agronomia e Horticultura (Weed Science) - Universidade de Nebraska-Lincoln, Lincoln, 2015.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Spray and dust drift label statements for pesticide products**. Washington, D.C.: U.S., 2001. Available at: www.epa.gov/PR_Notices/prdraft-spraydrift801.htm

ETHERIDGE, R. E.; HART, W. E.; HAYES, R. M.; MUELLER, T. C. Effect of venturi-type nozzles and application volume on postemergence herbicide efficacy. **Weed Technology**. v. 15, p. 75-80, 2001.

FENG, P. C.; CHIU, T.; SAMMONS, R. D.; RYERSE, J. S. Droplet size affects glyphosate retention, absorption, and translocation in corn. **Weed Science**. v. 51, p. 443-448, 2003

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; WOLF, R. E.; BRETTHAUER, S.; BAGLEY, W. E. Wind tunnel and field evaluation of drift from aerial spray applications with multiple spray formulations. **Pesticide Formulations and Delivery Systems**. p. 1-18, 2012. Disponível online em: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30910515/Publications/2012/Fritz%20WT%20and%20Field%20Active_AI.pdf

GARDISSER, D. R.; WALKER, J. T.; KUHLMAN, D. K. Aerial application of pesticides / adapted by Suzanne Deatherage ; contributors and reviewers, Bryan W. Shaw and Douglass Stevenson. Revision. [1999]. 45 p.

GILES, D. K. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. **Atomization Sprayers**. v. 7, n. 2, p. 161-181, 1997.

HANKS, J. E. Effect of drift retardant adjuvants on spray droplet size of water and paraffinic oil applied and ultralow volume. **Weed Technology**. v. 9, n. 2, p. 380-384, 1995.

- . HEWITT, H. J., HUDDLESTON, E. W.; SANDERSON, R.; ROSS, J. B. Effect of adjuvants and formulations on aerial spray drift potential. **Pest Management Science**. v. 37, n. 2, p. 209-211, 1993.
- . HEWITT, A. J.; D. JOHNSON, R.; FISH, J. D.; HEMANSKY, C. G.; VALCORE, D. L. Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology Chemistry**. v. 21, n. 3, p. 648-658, 2002.
- HISLOP, E. Requirements for effective and efficient pesticide application. **Rational Pesticide Use, Cambridge Univ. Press**. p. 53-71, 1987.
- HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K.; BAGLEY, W. E.; GEDNALSKE, J.; ELSIK, C. E. Determination of selection criteria for spray drift reduction from atomization data. **Pesticide Formulation and Delivery Systems**. n. 32, p. 65–79, 2013. Disponível online em: <<http://www.astm.org/doiLink.cgi?STP104454>>
- HOFFMANN, W. C.; KIRK, I. W. Spray deposition and drift from two “medium” nozzles. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v, 48, n. 1, p. 5-11, 2005.
- KIRK, I. W. Measurement and prediction of atomization parameters from fixed-wing aircraft spray nozzles. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 50, n. 3, p. 693-703, 2007.
- COSTA, L. L.; FERREIRA, M. C.; CAMPOS, H. B. N.; CARVALHO, G. G. F.; BARBOSA, J. C. The mixture volume sprayed by hydraulic and centrifugal energy nozzles for the control of Asian soybean rust. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 37, n. 4, p. 425-433, 2015.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos**. Jaboticabal: Funep, 1990. p. 139.

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, Surrey, v. 19, p. 609-615, 2000.

OLIVEIRA, RONE BATISTA DE. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 134 f. Tese de Doutorado em Energia na Agricultura - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

RAMSDALE, B. K.; MESSERSMITH, C. G. Drift-reducing nozzle effects on herbicide performance **Weed technology**. v.15, p.453-460, 2001.

SILVA, ANNE CAROLINE ARRUDA E. **Desempenho de adjuvantes na qualidade da aplicação e na retenção e translocação de fungicida na cultura da soja**. 67 f. Tese de Doutorado em Energia na Agricultura - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

TAYLOR, W. A.; WOMAC, A. R.; MILLER, P. C. H.; TAYLOR, B. P. An attempt to relate drop size to drift risk. Pages 210–223 in **Proceedings** of the International Conference on Pesticide Application for Drift Management. Pullman, WA: Washington State University, 2004.

TESKE, M. E.; HEWITT, A. J.; MICKLE, R. E. The measurement of droplet size distributions from rotary atomizers. **Pesticide Formulations and Applications Systems**. v. 21, p. 197- 209, 2001.

WHISENANT, S.; BOUSE, L.; CRANE, R.; BOVEY, R. Droplet size and spray volume effects on honey mesquite mortality with clopyralid. **Journal of Range Management**. v. 46, p.257-261, 1993.

YATES, W.; AKESSON, N.; BAYER, D. Effects of spray adjuvants on drift hazards. **Transaction American Society of Agricultural Engineer**. v. 19, p. 41-46, 1976.

YATES, W.; COWDEN, R. E.; AKESSON, N. Drop size spectra from nozzles in high-speed airstreams. **Transaction American Society of Agricultural Engineer.** v. 28, p. 405-410, 1985.

CAPÍTULO 3 - SENSORES ÓPTICO ELETRÔNICOS CONFIGURADOS EM QUADRICICLO PARA APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DE GLYPHOSATE NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS DA CANA

RESUMO – Objetivou-se com deste estudo: i) avaliar a acurácia na detecção de plantas por sensores óptico eletrônicos em função da velocidade de aplicação e tamanho de plantas; ii) avaliar a eficácia no controle de plantas daninhas com o sistema automático de aplicação localizado em função da irradiância e concentração de glyphosate na calda, iii) avaliar a qualidade da operação de catação química de plantas daninhas com a aplicação automática em quadriciclo e a costal manual por meio do controle estatístico de processos. Foi usado nas aplicações o pulverizador Herbiciclo Duo® e pulverizador costal manual pressurizado. Nas avaliações de acurácia utilizou-se a espécie *Brachiaria decumbens* nos comprimentos de 5 a 10 cm e maiores do que 10 cm de comprimento, com velocidades de aplicação de 6 a 8, 8.5 a 11.5 e 12 a 14 km h⁻¹. Para avaliar a eficácia dos tratamentos, aos 7, 14, 21 e 28 DAA, quantificou-se as plantas vivas encontradas dentro das áreas de amostragens delimitadas nas parcelas experimentais e também atribuiu-se notas de percentagem de controle. A qualidade do sistema de automático de aplicação localizada e aplicação costal manual avaliados por meio do controle estatístico de processos, em que foram utilizadas cartas de controle do tipo I-MR. Houve maior acurácia dos sensores em plantas com comprimento médio de superior a 10 cm e velocidade de aplicação de 6 a 8 km h⁻¹. Aos 7, 14, 21 e 28 DAA a eficácia de controle não foi influenciada pela irradiância e concentração de glyphosate na calda, no entanto, as médias das notas de percentagem de controle indicam que foi menor o controle na ausência de luz. Com relação a qualidade da operação, sob a óptica do controle estatístico de processos, a aplicação automática em quadriciclo supera a costal manual.

PALAVRAS-CHAVE: aplicação costal manual; aplicação localizada; tecnologia de aplicação de herbicidas; *Saccharum spp.*; WeedSeeker®

CHAPTER 3 - ELECTRONIC OPTICAL SENSORS SET IN QUADRICYCLE FOR THE AUTOMATIC APPLICATION OF GLYPHOSATE TO WEED CONTROL ON SUGARCANE

ABSTRACT – The aim of this study were: i) evaluate the accuracy in the plant detection by electronic optical sensors due to speed of sprayer and size of plants; li) evaluate the weed control efficiency with WeedSeeker® spot application system due to the irradiance and concentration of glyphosate on tank; iii) evaluate the quality of herbicide application process by the automatic application with quadricycle and manual backpack using statistical quality processes. We use the WeedSeeker® (Trimble®) set on quadricycle and a backpack pressurized manual sprayer. Plants of *Brachiaria decumbens* were used in sizes from 5 to 10 cm and greater than 10 cm of diameter and the speeds of 6 to 8, 8.5 to 11.5 and 12 to 14 km h⁻¹. The efficacy evaluations were at 7, 14, 21 and 28 DAA and the number of live weeds found on sampling areas delimited in the experimental plots were counted. Also, was attributed percentages rates of control. In the quality evaluations, data from the field effective capacity and consumption of spray solution by the automatic and manual application were evaluated and means analyzes by statistical control of quality, in which I-MR control charts were used. Was found greater precision of sensors in plants with size over 10 cm and under speeds of 6 to 8 km h⁻¹. At 7, 14, 21 and 28 DAA the weed control efficacy was not influenced by the irradiance and glyphosate concentration on tank, however, the percentage rates of control indicated better control with light. Regarding to the quality of the operation, from the point of view of statistical process control, the automatic application exceeds the manual. The proposed methodology lends itself to adapting localized automatic systems.

KEY WORDS: herbicide application technology; manual backpack application; spot application; *Saccharum* spp.; WeedSeeker®

1. INTRODUÇÃO

Exigências ambientais e trabalhistas têm exigido mudanças na agricultura, impactando de forma direta em novos conhecimentos agronômicos para a sustentabilidade social do setor. Isto posto, o processo de mecanização do sistema de produção agrícola tem-se intensificado, com expressivos investimentos em tecnologias para poupar recursos naturais e financeiros (NEVES e CONEJERO, 2007).

De acordo com Paauw and Molendijk (2000) citado por Nieuwenhuizen et al. (2008), a aplicação manual de herbicidas em pós emergência de plantas daninhas na entrelinhas de culturas caracteriza-se pelo desperdício de energia, produtos e mão-de-obra, além de riscos ergonômicos e toxicológicos ao aplicador (MONTEIRO, 2001). O advento dos sistemas de detecção de plantas e aplicação em tempo real embarcados em pulverizadores propõem mudanças neste cenário, criando-se uma modalidade de intervenção fitossanitária mais sustentável (CAMPOS, FERREIRA e ALMEIDA, 2015).

Sistemas automáticos de aplicação localizada via sensores óptico eletrônico levam em consideração apenas a presença de organismos alvos na área a ser tratada, conferindo-lhes a capacidade de pulverizar automaticamente um determinado alvo de forma localizada e precisa (PETEINATOS et al., 2014). Contudo, a maioria dos resultados significativos foram obtidos sob condições específicas (BROWN e NOBLE, 2005; LÓPES-GRANADOS, 2011).

Espera-se que os sistemas de pulverização inteligentes embarcados em pulverizadores possam substituir a pulverização costal manual de herbicidas na cana, entretanto, há hipótese que a esta modalidade de aplicação automática apresente limitações e incógnitas nas condições reais de campo, sendo necessários estudos.

Algumas metodologias foram propostas para avaliar a acurácia e eficácia no controle de plantas daninhas com os pulverizadores inteligentes, porém são escassas avaliações das características quanti e qualitativas dos métodos de aplicação automático em relação ao costal manual. Para tanto, o controle

estatístico de qualidade torna-se uma opção (ZERBATO et al., 2016, VOLTARELI et al., 2016).

Os objetivos deste estudo foram: i) avaliar a acurácia na detecção de plantas por sensores óptico eletrônicos em função da velocidade de aplicação e tamanho de plantas; ii) avaliar a eficácia no controle de plantas daninhas com o sistema automático de aplicação localizado WeedSeeker® devido à irradiância e concentração de glyphosate na calda, iii) avaliar a qualidade da operação de catação química de plantas daninhas com a aplicação automática em quadriciclo e a costal manual pelo controle estatístico de processos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em talhões de cana soca, variedade RB 85 5453, com plantio no espaçamento entrelinhas de 1,5 m. Os experimentos foram conduzidos no município de Catanduva - SP (latitude 21°08'16" Sul, longitude 48°58'22" Oeste e altitude de 503 metros), no ano agrícola de 2016. O solo predominante é o latossolo vermelho escuro, eutrófico. O clima é Cwa, clima tropical de altitude.

Foi utilizado o pulverizador HerbiCiclo Duo® (Herbicat Ltda.). O equipamento caracteriza-se por um quadriciclo com cabine conjugada a sua estrutura seguindo as normas regulamentadoras vigentes de adequação a operadores e configurado com circuito hidráulico de pulverização.

Na dianteira tem-se uma barra de pulverização equipada com sistema automático de aplicação localizada WeedSeeker® - Modelo 655 (Trimble Navigation Limited®), este caracteriza-se por sensores óptico eletrônicos de detecção de plantas e aplicação em tempo real. Foram utilizados três WeedSeekers® configurados com modelos de pontas de pulverização Teejet TP 6502 VS, conforme recomendação do fabricante. O entorno do sistema de pulverização é protegido por uma capa que impede a deriva de gotas do produto aplicado com a cana. Também para evitar deriva são posicionadas lateralmente duas hastes de metal para "varredura" de folhas de cana na entrelinha (Figura 1).



Figura 1. Foto da parte dianteira do pulverizador HerbiCiclo Duo® (Herbicat).

Já, na parte traseira tem-se o reservatório ou tanque de armazenamento da calda herbicida; uma bomba de pistão para pressurização da calda pelo circuito hidráulico do pulverizador, comandos e pingentes laterais para aplicação localizada de herbicidas seletivos na linha de plantio e ou soqueira da cana (Figura 2).



Figura 2. Foto da parte traseira do pulverizador HerbiCiclo Duo® (Herbicat).

Para a aplicação manual foi utilizado um pulverizador costal manual pressurizado. O equipamento caracteriza-se por um cilindro preenchido com gás CO₂ para pressurização da calda, um reservatório de capacidade de 2 L, um manômetro conjugado a lança de pulverização e um bico de pulverização com o modelo de ponta Teejet AI 110 02 EVS.

2.1. Avaliações de acurácia na detecção de plantas por sensores óptico eletrônicos

Seguindo a metodologia proposta por Tian (2002), avaliou-se a percentagem de acurácia do sistema automático de aplicação localizado em plantas da espécie *Brachiaria decumbens*. As avaliações foram realizadas em 45 plantas com comprimento de 5 a 10 cm e 45 plantas maiores do que 10 cm, e com três as velocidades de aplicação: 6 a 8; 8,5 a 11,5 e 12 a 14 km h⁻¹. Na Tabela 1 são descritos os tratamentos.

Tabela 1. Tratamentos utilizados para avaliar a percentagem de acurácia do sistema automático de aplicação localizada de herbicidas por sensores Weedseeker® em plantas de *B. decumbens* com tamanhos entre 5 e 10 cm e maiores que 10 cm de diâmetros, sob velocidades de aplicação de 6 a 8; 8,5 a 11,5 e 12 a 14 km h⁻¹ na entrelinha da cana.

Velocidades de deslocamento	Controlador Weedseeker®	Número de plantas avaliadas
6 a 8 km h ⁻¹	Low	45
8,5 a 11,5 km h ⁻¹	Med	45
12 a 14 km h ⁻¹	High	45

As plantas de *B. decumbens* foram medidas e coletadas em área adjacente a experimental e imediatamente transplantadas na entrelinha da cana em espaçamento entre plantas de 0,3 m, perfazendo três plantas na faixa de 0,9 m. Na aplicação usou-se água e corante para facilitar a visualização da acurácia do sistema.

Antes das avaliações realizou-se a calibração dos sensores em área livre de plantas daninhas. A sensibilidade do sensor foi mantida no nível 3. A velocidade de deslocamento do pulverizador foi monitorada por controlador de

velocidade, sendo que para cada velocidade de 6 a 8; 8,5 a 11,5 e 12 a 14 km h⁻¹ foi alterado nível de velocidade do controlador WeedSeeker® para baixo, médio e alto, respectivamente.

2.2. Avaliação de eficácia do controle de plantas daninhas com o sistema automático de aplicação localizada por sensores

Nesta etapa, foi avaliada a eficácia do controle de plantas daninhas em função da irradiância e da concentração de glyphosate na calda. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 2 + 1 em quatro repetições. Os níveis dos fatores foram constituídos pelo resultado da combinação da irradiância (com luminosidade durante e após sete horas de aplicados os tratamentos e sem luminosidade durante e após sete horas de aplicados os tratamentos), concentração de glyphosate no tanque (5% e 10%) e mais uma testemunha sem aplicação (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos utilizados para avaliação da eficácia no controle de plantas daninhas na entrelinha de cana com sistema automático de aplicação localizada de herbicida WeedSeeker®.

Tratamentos	Irradiância	Hora da aplicação	Concentração de herbicida*
1.	Com luz	13:30 AM	5% de glyphosate
2.	Com luz	14:00 AM	10% de glyphosate
3.	Sem luz	8:30 PM	5% de glyphosate
4.	Sem luz	9:10 PM	10% de glyphosate
5.	Controle – Tratamento sem aplicação de herbicida		

*= Concentrações diluídas para tanque preenchido com 20 L de água.

Cada parcela experimental foi constituída por uma entrelinha da cana no espaçamento de plantio de 1,5 m. Foi considerada como área útil a faixa tratada de 0,9 m (considerada segura para evitar a deriva de herbicida nas plantas de cana) por 10 m de comprimento, perfazendo 9 m² cada parcela.

Um dia antes da aplicação do herbicida foram coletadas informações sobre as espécies de plantas daninhas predominantes na área experimental. Também foram delimitados os locais das avaliações de contagem de plantas

daninhas após a aplicação. Para a delimitação foi lançado aleatoriamente uma estrutura de metal vazada com as dimensões de 1 m x 1 m. Este quadro foi lançado duas vezes em cada parcela. Dentro de cada local delimitado, as plantas daninhas foram contadas e identificadas com “tags” de plástico (Figura 3).



Figura 3. Foto da estrutura de metal vazada de 1 m² usada para delimitar as áreas de amostragem e identificar as plantas daninhas na entrelinha da cana.

Os teores de CaCO₃ e o pH da água usada nas aplicações foram de 50 ppm e 6.2, respectivamente. Após a mistura com o herbicida na água, tais teores de CaCO₃ e o pH foram alterados para 30 ppm e 5,1, respectivamente. Estas informações são importantes, pois existe uma relação entre os teores de CaCO₃ e o pH com a percentagem de inativação de moléculas de glyphosate.

Foi utilizado o herbicida Glifosato Nortox[®] (fabricante Nortox S.A.), não seletivo, de ação sistêmica, pertencente ao grupo químico glicina substituída, composto pela mistura de sal de isopropilamina de N (phosphonometlyl) glicine (480 g.L⁻¹) + equivalente ácido glifosato (360 g.L⁻¹) + ingredientes inertes (692 g.L⁻¹), em formulação do tipo concentrado solúvel, conforme especificações técnicas no rótulo do produto.

A aplicação dos tratamentos com luz ambiente foi realizada com 0% de nebulosidade. No momento das aplicações a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento foram monitoradas com termohigrômetro e anemômetro digitais e atenderam ao proposto pela FAO (2002). Não houve ocorrência de chuva após as pulverizações.

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) foi avaliado o controle de plantas daninhas por meio da contagem do número de plantas vivas encontradas dentro das áreas de amostragens delimitadas por 1 m². Também aos 7, 14, 21 e 28 DAA foram realizadas avaliações visuais da percentagem de controle de plantas daninhas, sendo que nesta avaliação se levou em consideração toda área aplicada de cada parcela experimental. A escala percentual de notas foi definida de 0 a 100%, na qual 0% correspondeu a nenhuma injúria visível e 100% à morte das plantas (SBCPD, 2000).

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA) e as médias de cada parcela comparadas entre si, utilizando-se o teste de Tukey ($p > 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas em programa computacional Assistat Versão 7.7 beta 2016.

2.3. Avaliação da qualidade da operação de catação química de plantas daninhas com a aplicação automática em quadriciclo e a costal manual

A qualidade do sistema automático de aplicação localizada por sensores foi comparada com a aplicação costal manual por meio do controle estatístico de processos,. Os critérios avaliados foram a capacidade de campo efetiva e o consumo de calda herbicida.

A capacidade de campo efetiva (CcE) foi calculada dividindo-se a dimensão da área trabalhada pelo tempo gasto para a aplicação do herbicida nesta mesma área, conforme representado na fórmula abaixo:

$$CcE = At/Tpr$$

em que,

CcE = capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

At = Área tratada (ha)

Tpr = tempo produtivo (h)

O consumo de calda herbicida pelos dois equipamentos foi quantificado com um monitor digital de ensaios de pulverização AAMS Salvarani® (Figura 4a

e 4b). O monitor é ligado a um fluxômetro que informa a vazão da calda aplicada em cada parcela e armazena os valores em software. Para verificação do volume de aplicação foi relacionada a vazão gasta por parcela com a área tratada.



Figura 4a. Foto (esquada) com o monitor digital de ensaios de pulverização AAMS Salvarani® usados para avaliar o consumo de calda gastos pela aplicação automática e manual. **4b.** Foto (direita) demonstrando como foi montado o sistema de monitoramento de ensaios de pulverização.

Adotou-se o esquema amostral em faixas devido à homogeneidade das áreas experimentais. Foram coletados 80 pontos amostrais para cada equipamento aplicador (4 passadas com 20 pontos coletados cada, com metade em um sentido de deslocamento dos pulverizadores e metade em outro objetivando-se maior casualização). Cada ponto amostral foi espaçado de 50 m longitudinalmente.

Os resultados foram avaliados por meio do controle estatístico de processos, utilizando-se as cartas de controle do tipo I-MR (valores individuais e amplitude móvel), que possuem linhas centrais (média geral e amplitude média), bem como os limites superior e inferior de controle estatístico, definidos como LSC e LIC, calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC, média mais três vezes o desvio-padrão, e para LIC, média menos três vezes o desvio, quando maior que zero).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da acurácia da aplicação automática de herbicida em função do tamanho dos alvos e velocidade de deslocamento do quadriciclo.

Tabela 3. Percentagem de acurácia do sistema automático de aplicação localizada de herbicidas por sensores Weedseeker® em plantas de *B. decumbens* com diâmetros entre 5 e 10 cm, com velocidades de aplicação de 6 a 8; 8,5 a 11,5 e 12 a 14 km h⁻¹ na entrelinha da cana.

Velocidades de deslocamento	Controlador Weedseeker®	Nº de plantas não atingidas	Nº de plantas atingidas	Número total de plantas	Acurácia (%)
6 a 8 km h ⁻¹	Low	6	39	45	86,6
8.5 a 11.5 km h ⁻¹	Med	18	27	45	60,0
12 a 14 km h ⁻¹	High	29	16	45	35,5
Total	-	53	82	135	60,74

Tabela 4. Percentagem de acurácia do sistema automático de aplicação localizada de herbicidas por sensores Weedseeker® em plantas de *B. decumbens* com diâmetros maiores que 10 cm, com velocidades de aplicação de 6 a 8; 8,5 a 11,5 e 12 a 14 km h⁻¹ na entrelinha da cana.

Velocidades de deslocamento	Controlador Weedseeker®	Nº de planas não atingidas	Nº de planas atingidas	Número total de plantas	Acurácia (%)
6 a 8 km h ⁻¹	Low	1	44	45	97,8
8.5 a 11.5 km h ⁻¹	Med	22	23	45	51,1
12 a 14 km h ⁻¹	High	31	14	45	31,1
Total	-	54	81	135	60,0

Considerando como condições de trabalho as entrelinhas da cultura cana, o sistema de aplicação automática apresentou maior acurácia na detecção e aplicação das plantas com velocidade de deslocamento de 6 a 8 km h⁻¹ em alvos com 5 a 10 cm e superior a 10 cm de tamanho. Maiores velocidades deslocamento aumentaram a percentagem de atrasos e falhas na deposição gotas nos alvos, independentemente do tamanho das plantas de *B. decumbens*.

Estes resultados confirmam a hipótese mencionada por Thessler et al. (2011), de que sistemas de aplicação automática, em linhas gerais, geram bons resultados se considerados protocolos específicos de uso. Em concordância também com esta hipótese, Tian (2002) durante o desenvolvimento de um sistema automático de detecção de plantas e aplicação localizada de herbicida em tempo real e verificou que aumentando a velocidade de deslocamento do pulverizador de 3,2 a 3,9 para 11 a 14 km h⁻¹ houve uma redução na percentagem de acurácia de 96 para 86%.

Com estes resultados de acurácia se expõem a importância de adequação dos sistemas automáticos de aplicação de herbicida a cada modalidade de uso. No processo de catação química de plantas daninhas na entrelinha da cana torna-se fundamental determinar o início das aplicações quando verificada a infestação de plantas daninhas com tamanho superior a 10 cm de diâmetro, mantendo-se a velocidade de deslocamento do quadriciclo de 6 a 8 km h⁻¹. Dessa forma, se evitam falhas na aplicação localizada e, conseqüentemente, o desperdício de herbicida.

Os resultados de eficácia de controle estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de F e coeficiente de variação (CV%) aplicados ao número de plantas daninhas vivas nas áreas de amostragens delimitadas nas entrelinhas da cana aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) automática em função de duas concentrações de glyphosate¹ e condições de irradiância.

	Variáveis	Médias do número de plantas vivas			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
F	Irradiância (IR)	3,96 ^{ns}	3,96 ^{ns}	3,96 ^{ns}	3,96 ^{ns}
	Concentração Glyphosate (CG)	3,02 ^{ns}	3,02 ^{ns}	3,02 ^{ns}	3,02 ^{ns}
	IR x CG	2,53 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,53 ^{ns}
	Controle x IR x CG	101,19 ^{**}	101,19 ^{**}	101,19 ^{**}	101,19 ^{**}
CV (%)		22,23			

^{ns} = Não significativo. * = p > 0,05. ** = p < 0,01. ¹ = Glyphosate (Glifosato Nortox®) na dose de 360 g.L⁻¹ de equivalente ácido.

De acordo com as avaliações de eficácia, considerando o número de plantas vivas na área de amostragem, verificou-se que os tratamentos aplicados diferiram do tratamento controle e não houve influência da irradiância e na

concentração de glyphosate na calda no número de plantas vivas nas avaliações realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (Tabela 5).

Levando-se em consideração a média das notas de percentagens de controle de plantas daninhas, observou-se que houve interferência da irradiância no controle das plantas daninhas (Tabela 6). As notas de controle sugerem que a ausência de luminosidade durante e após a aplicação do herbicida diminuiu a eficácia de controle (Tabela 7).

Tabela 6. Valores de F e coeficiente de variação (CV%), aplicados às notas de percentagens de controle de plantas daninhas na entre linha da cana aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) automática de glyphosate¹ em diferentes concentrações e irradiâncias.

	Variáveis	Médias das notas de percentagem de controle			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
F	Irradiância (IR)	6,44*	6,44*	6,44*	6,44*
	Concentração Glyphosate (CG)	1,93 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,93 ^{ns}
	IR x CG	1,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}
	Controle x IR x CG	88,61**	88,61**	88,61**	88,61**
CV (%)		23,75			

^{ns} = Não significativo. * = $p > 0,05$. ** = $p < 0,01$. ¹ = Glyphosate (Glifosato Nortox®) na dose de 360 g.L⁻¹ de equivalente ácido.

Tabela 7. Efeito da irradiância nas médias das notas de percentagens de controle de plantas daninhas na entrelinha da cana aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) automática de glyphosate¹.

Irradiância	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Com luminosidade ambiente	90,00 a	90,00 a	90,00 a	90,00 a
Sem luminosidade ambiente	70,63 b	70,63 b	70,63 b	70,63 b
D.M.S.				16,61
C.V. (%)	23,75			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey $p > 0,05$. D.M.S. – Distância Mínima Significativa. C.V.(%) - Coeficiente de variação. ¹ = Glyphosate (Glifosato Nortox®) na dose de 360 g.L⁻¹ de equivalente ácido.

Com base nos resultados de acurácia e eficácia, nota-se que o sistema automático de aplicação localizada Weedseeker® é preciso e eficaz. Porém, a condição de luminosidade no momento da aplicação foi determinante para o

sucesso desta tecnologia no controle de plantas daninhas com o herbicida glyphosate.

De acordo com Vidal (2002), o nível de irradiância afeta diversas características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas, incluindo a composição e quantidade de substâncias lipofílicas depositadas sobre a superfície foliar, a taxa fotossintética, dentre outras. Tais variáveis morfológicas e fisiológicas podem modificar a capacidade de absorção, translocação e até detoxificação de herbicidas em plantas.

Uma vez que o glyphosate é absorvido pelas folhas e translocado via floema para então inibir a síntese de aminoácidos pela planta (ROBERTS e HUTSON, 1998), a baixa irradiância desestimula a síntese de fotoassimilados, os quais são necessários para o transporte do herbicida na planta (WANAMARTA, PENNER, 1989).

Portanto, estes resultados obtidos com as notas de percentagem de controle sugerem que a ausência de luz ambiente durante e após a aplicação desfavoreceu o fluxo de fotoassimilados e a translocação de glyphosate na planta, conseqüentemente, prejudicando a eficácia no controle de plantas daninhas.

Martinson et al. (2002) verificaram que as aplicações de glyphosate efetuadas entre nove e 18 horas apresentaram maior nível de controle da comunidade de plantas daninhas do que às realizadas entre 21 e seis horas. Waltz et al. (2004) também verificaram que o controle de plantas da espécie *Abutilon theophrasti* foi mais eficaz com o glyphosate aplicado em condições de luminosidade.

Kells, Meggitt e Penner et al. (1984) avaliaram o efeito da luminosidade na eficácia de herbicidas inibidores de ACCase e verificaram que a translocação de ¹⁴C-fluazifop-butil foi 25% maior nas plantas expostas à plena luz do que naquelas mantidas em luminosidade reduzida após a aplicação com o herbicida. Portanto, a luminosidade também pode ser determinante no controle com outros herbicidas.

A concentração do herbicida, 5% e 10% de glyphosate na calda, teve o mesmo efeito no número de plantas daninhas contadas aos 7, 14, 21 e 28 DAA

no quadro de amostragens (Tabela 5). Da mesma forma, as concentrações do herbicida na calda também não interferiram de forma significativa nas notas de percentagem de controle das plantas daninhas nos períodos de avaliação (Tabela 6).

Em linhas gerais, a demanda por maior rendimento dos pulverizadores impulsionou a redução do volume de aplicação no tratamento fitossanitário. Como consequência, tem-se maior concentração de produtos fitossanitários no tanque do pulverizador. Baseado nisto, Barcellos et al. (2005) avaliaram a eficiência de 5 volumes aplicação que variaram de 70 a 208 L ha⁻¹ aplicados em área total. Os autores concluíram que as variações dos volumes não promoveram alterações significativas nos níveis de controle das plantas daninhas estudadas.

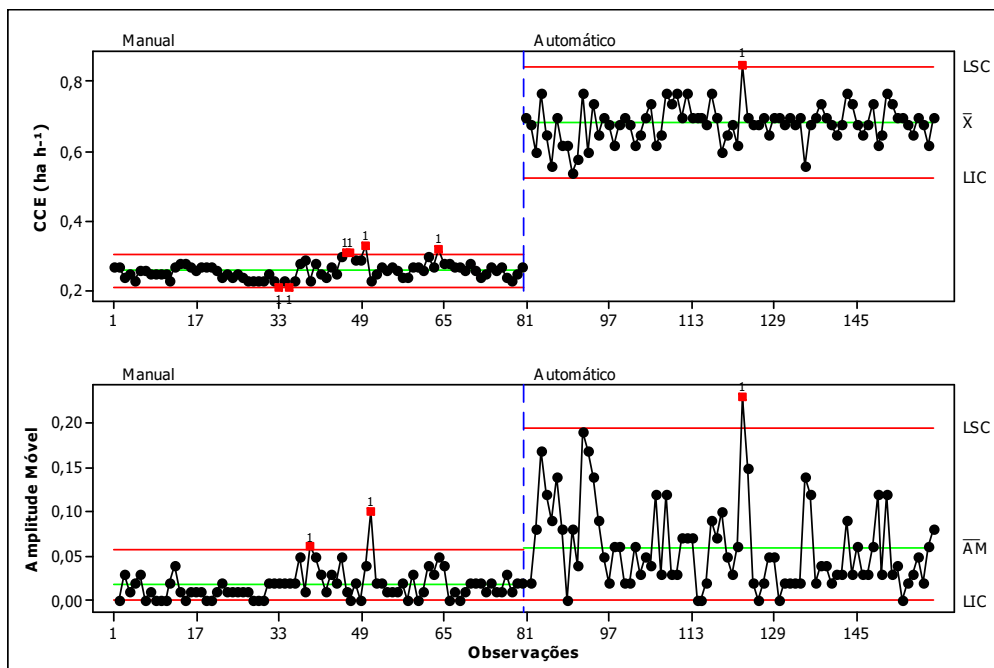
Rodrigues, Abi Saab e Gandolfo (2011) avaliaram a eficácia no controle plantas daninhas na entrelinha de cana pela aplicação costal manual em função de sete volumes de aplicação (467; 380; 260; 190; 96,7; 73; e 8,8 L ha⁻¹). Verificou-se que o maior volume apresentou eficácia de controle igual ao menor volume. Uma vez que a dose recomendada no rótulo do herbicida usado neste estudo está em litros por hectare, isto significou que as diferentes concentrações do herbicida não interferiram no controle.

Portanto, preconiza-se que a concentração de 5% de glyphosate na calda é suficiente para o controle de plantas daninhas na aplicação localizada com WeedSeeker[®]. Ressalta-se que, a concentração de 5% do herbicida Glifosato Nortox[®] adotada no tanque do pulverizador de capacidade de 20 L equivale a dose máxima do herbicida dentro do volume de aplicação mínimo recomendados no rótulo do produto, estes de 6 L ha⁻¹ e 150 L ha⁻¹, respectivamente.

Nota-se que os resultados de eficácia do controle de plantas daninhas foram definitivos já aos 7 DAA, pois aos 14, 21 e 28 DAA os resultados se repetem (Tabelas 5 e 6), apesar da existência de plantas das espécies de *Conyza canadensis* e *Digitaria insularis* nas parcelas experimentais, plantas que são reconhecidas pela resistência ao herbicida glyphosate (MOREIRA et al., 2007; GEMELLI et al., 2012).

Os resultados deste estudo concordam com Nieuwenhuizen et al. (2008, 2010a) e Nieuwenhuizen, Hofstee e Henten (2009, 2010b). Estes autores avaliaram o controle de plantas daninhas com a pulverização localizada de herbicida via sensores de detecção de plantas e verificaram que esta tecnologia de aplicação se mostra eficaz, além de possibilitar reduzir o desperdício e a contaminação pelo excedente de produto aplicado.

Sob a óptica do controle estatístico de processos a capacidade de campo efetiva (CcE) se apresentou instável para ambos pulverizadores (Figura 5). Os valores demonstrados na carta de controle não se mantiveram entre o limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC) tanto na aplicação automática quanto manual. Isto significa que ambas as técnicas de aplicação desempenharam suas operações de modo constante.



LSC: Limite Superior de Controle. LIC: Limite Inferior de Controle. X: média. AM: média da amplitude móvel.

Figura 5. Cartas de controle para capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹) na pulverização automática e manual.

A média da CcE da aplicação automática foi de 0,68 hectares tratados por hora (ha h⁻¹) em contrapartida a aplicação manual atingiu a média de 0,26 ha h⁻¹ (Figura 5). O maior rendimento da pulverização automática deve-se a maior

velocidade de deslocamento desempenhada pelo conjunto quadriciclo-pulverizador em detrimento da aplicação costal manual.

Nota-se que, sob a óptica do CEP, tanto a aplicação manual quanto a automática apresentaram processos instáveis, com 6 e 1 pontos fora de controle, respectivamente. Observa-se também que a aplicação automática apresentou maior variabilidade, com maior dispersão dos resultados em torno da média. Porém, apresentou apenas um ponto acima do LSC, tanto para a carta de valores individuais quanto para a de amplitudes, o que pode ser atribuído aos fatores 6M's (Material, Máquina, Mão-de-obra, Método, Medição e Meio Ambiente).

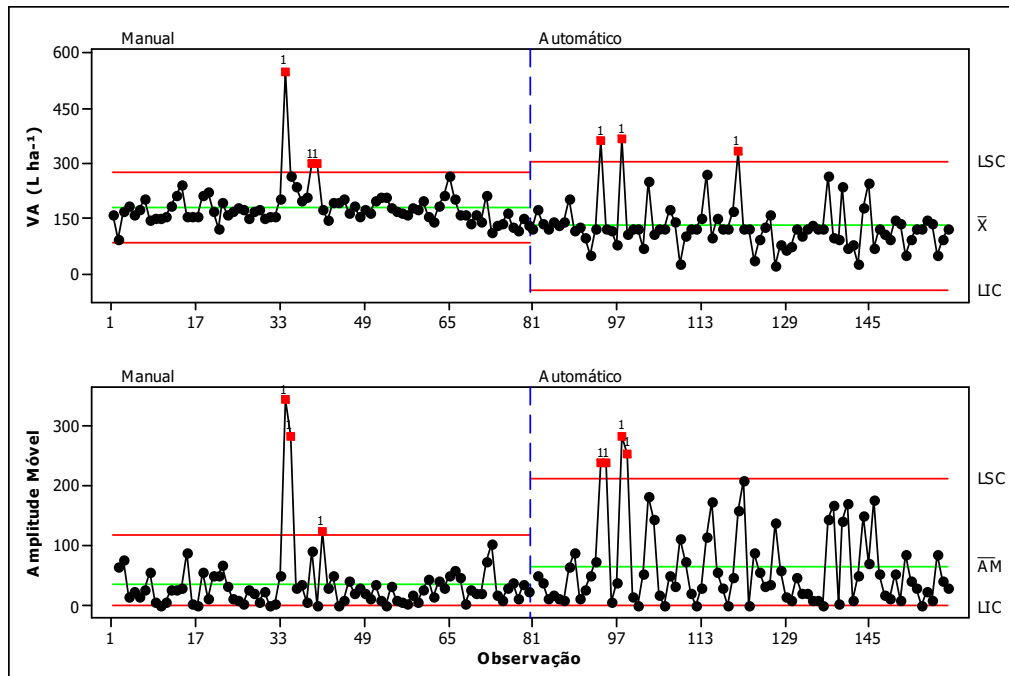
Mesmo a aplicação manual apresentando menor média de CCE, o processo neste caso resultou em mais pontos fora dos limites de controle (LSC e LIC). As cartas de amplitude móvel permitem verificar a variação dentro do processo, ou seja, como é o comportamento do indicador de qualidade em relação ao ponto anterior. Neste sentido, a presença de poucos pontos fora dos limites de controle, para os dois processos, indicam que houve pouca variabilidade não aleatória, podendo-se atribuir essa variabilidade ao acaso.

Por outro lado, a aplicação manual apresentou um ponto distante do LSC. Do ponto de vista do controle estatístico de processos, a discrepância apresentada na distância deste ponto em relação a linha do LSC sugere que o volume de calda gasto pela aplicação manual pode não ser constante (Figura 6). Isto apesar de ambos os pulverizadores estarem equipados com pontas de pulverização de mesma vazão e sob mesma pressão de trabalho.

Este maior volume de calda da aplicação costal manual pode ser compreendido devido à solenoide de abertura e fechamento da aplicação automática ser mais precisa que o sistema de gatilho manual presente na lança do pulverizador costal manual, conseqüentemente, caracterizando desperdício de herbicida.

Além disso, a precisão da aplicação automática pode promover o uso de menores volumes de calda e diminuir os riscos de perdas por escorrimento. Tian, Reid e Hummel (2002) avaliaram um sistema automático de aplicação localizada de herbicidas com sensores ópticos eletrônicos no controle de plantas daninhas

entrelinha de soja e milho. Os autores verificaram a economia de 48% de herbicida.



LSC: Limite Superior de Controle. LIC: Limite Inferior de Controle. X: média. AM: média da amplitude móvel.

Figura 6. Cartas de controle para o consumo de calda herbicida ($L ha^{-1}$) na pulverização automática e manual

Contudo, o conhecimento dos fatores que limitam a eficiência dos sistemas automáticos de aplicação localizada permite selecionar os momentos mais apropriados para a sua eficácia, assim como otimizar a dose aplicada e aumentar o rendimento da aplicação. Este estudo e sua metodologia podem ser usados para avaliação de sistema automáticos de aplicação localizada em outras culturas

4. CONCLUSÕES

O uso de sensores óptico eletrônicos configurados em quadriciclo apresentam maior acurácia para aplicação localizada de herbicida nas entre linhas da cana;

A aplicação automática é eficaz no controle de plantas daninhas com 5% de glyphosate na calda e sob condições de luminosidade;

A aplicação automática apresenta rendimento superior a costal manual, sendo também menos sujeita a falhas na aplicação.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, L. C.; ALMEIDA, R. A.; FERREIRA LEÃO, P. G.; VELOSO SANTOS, V. R.; CZEPAK, C.; FERNANDES, P. M. Desempenho do bico hidráulico boomjet 5880-3/4-2toc20 em aplicações de herbicida sobre *Urochloa decumbens*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.35, n.3, p.199-205, 2005.

BROWN, R. B, NOBLE, S. D. Site-specific weed management: sensing requirements – what do we need to see? **Weed Science**. v. 53, p. 252–258, 2005.

CAMPOS, H. B. N.; FERREIRA, M. C.; ALMEIDA. D. P. Pulverizadores Inteligentes. **Cultivar Máquinas**. v. 148, p. 16-17, 2015.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural pesticide sprayers. **Food and Agriculture Organization**, v. 4, p. 59, 2002.

GEMELLI, A.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J., BRAZ, G. B. P.; JUMES, T. M. C.; OLIVEIRA NETO, A. M.; DAN, H. A.; BIFFE, D. F. Aspectos da biologia de *Digitaria insularis* resistente ao glyphoste e implicações para seu controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**. v. 11, p. 231-240, 2012.

KELLS, J. J.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation, and activity of fluazifop-butyl as influenced by plant growth stage and environment. **Weed Science**, v. 32, n. 2, p. 143-149, 1984.

LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. **Weed Resistance**. v. 51, p. 1–11, 2011.

MARTINSON, K.B.; SOTHERN, R.B.; KOUKKARI, W.L.; DURGAN, B.R.; GUNSOLUS, J.L. Circadian response of annual weeds to glyphosate and glufosinate. **Chronobiology International**, v. 19, n. 2, p. 405-422, 2002.

MONTEIRO, R. A. Processo de trabalho da atividade de aplicação manual de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar: riscos ergonômicos e ecotoxicológicos. Universidade Federal da Paraíba, CCEN – PRODEMA, João Pessoa, 2001.

MOREIRA, M. S.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**. v. 25, p. 157-164, 2007.

NEVES, M. V.; CONEJERO, M. A. Sistema Agroindustrial da Cana: Cenários e Agenda Estratégica. **Economia Aplicável**. v. 11, n. 4, p. 587-604, 2007.

NIEUWENHUIZEN, A. T.; TANG, L.; HOFSTEE, J. W.; MUELLER, J.; HENTEN, E. J. van. Colour based detection of volunteer potatoes as weeds in sugar beet fields using machine vision. **Precision Agriculture**. v. 8, n. 6, p. 267-278, 2008.

NIEUWENHUIZEN, A. T.; HOFSTEE, J. W.; HENTEN, E. J. van. Adaptive detection of volunteer potato plants in sugar beet fields. **Precision Agriculture**. v. 11, n. 5, p. 433- 447, 2009.

NIEUWENHUIZEN, A. T.; HOFSTEE, J. W.; ZANDE, J. C. van; MEULEMAN, J.; HENTEN, E. J. van. Classification of sugar beet and volunteer potato reflection

spectra with a neural network and statistical discriminant analysis to select discriminative wavelengths. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 73, n. 2, p. 146-153, 2010a.

NIEUWENHUIZEN, A. T, HOFSTEE, J. W.; HENTEN, E. J. van. Performance evaluation of an automated detection and control system for volunteer potatoes in sugar beet fields. **Biosystems Engineering**, v. 107, n. 1, p. 46-53, 2010b.

PAAUW, J. G. M.; MOLENDIJK, L. P. G. Aardappelopslag in wintertarwe vermeerderd aardappelcystenaaltjes. (Volunteer potatoes in winter wheat multiply potato cyst nematodes) (4 pp). The Netherlands: PPO-DLO, Lelystad. 2000.

PETEINATOS, G. G.; WEIS, M.; ANDÚJAR, D.; AYALA, V. R.; GERHARDS, R. Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection. **Pest Manag. Sci.** v. 70, p. 190–199, 2014.

ROBERTS, T.; HUTSON, D. H. Metabolic pathways of agrochemicals: herbicides and plant growth regulators. **Cambridge: Royal Society of Chemistry**. v. 1, p. 849, 1998.

RODRIGUES, E. B.; ABI SAAB, O. J. G.; GANDOLFO, M. A. Cana-de-açúcar: Avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 1, p. 90-05, 2011

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Identificação e manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas. Londrina: SBCPD, 2000. p. 32.

THESSLER, S.; KOOISTRA, L.; TEYE, F.; HUITU, H.; BREGT, A. K. Geosensorsto support crop production: current applications and user requirements. **Sensors**. v 11, p. 6656–6684, 2011.

TIAN, L. Development of a sensor-based precision herbicide application system. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 36, n. 2, p. 133-149, 2002.

TIAN, L.; REID, J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. **Transactions of ASABE**. v. 42, n. 4, p. 893-900, 2002.

TRIMBLE Installation and operation guide WeedSeeker® Automatic Spot Spray System v 650 / 655 Sensor v 150 / 151 Controller, Version 1.00 Revision E August 2010 Part Number 500-1-021, 2010.

VIDAL, R. A. **Ação dos herbicidas: Absorção, translocação e metabolização**. Porto Alegre: Evangraf, 2002. 89p.

VOLTARELLI, M. A.; PAIXÃO, C. S. S.; SILVA, R. P.; ZERBATO, C.; TAVARES, T. O. **Quality monitoring of billets distribution in mechanized sugarcane planting**. v. 10, n. 5, p. 604-613, 2016.

WANAMARTA, G.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**., v. 4, n. 1, p. 215-231, 1989.

WALTZ, A. L.; MARTIN, A. R.; ROETH, F. W.; LINDQUISTG, J. L. Glyphosate efficacy on velvetleaf varies with application time of day. **Weed Technology**. v. 18, n. 4, p. 931-939, 2004.

ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Qualidade da semeadura e do arranquio mecanizado do amendoim. **Novas Edições Agrônomicas** 1 edn. 2016. p. 105.