

MARIA ELENA SILVA MONTANHANI

**CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA
SOJA POR APLICAÇÃO TERRESTRE E DRONE**

Botucatu

2023

MARIA ELENA SILVA MONTANHANI

**CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA
SOJA POR APLICAÇÃO TERRESTRE E DRONE**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gilberto
Raetano

Coorientador: Dr. Plinio Saulo Simões

Botucatu

2023

M764c Montanhani, Maria Elena Silva
Controle de plantas daninhas em pós-emergência
na cultura da soja por aplicação terrestre e drone /
Maria Elena Silva Montanhani. -- Botucatu, 2023
83 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências
Agronômicas, Botucatu
Orientador: Carlos Gilberto Raetano
Coorientador: Plinio Saulo Simões

1. Tecnologia de Aplicação. 2. Vants. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA POR APLICAÇÃO TERRESTRE E DRONE

AUTORA: MARIA ELENA SILVA MONTANHANI

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

COORDENADOR: PLÍNIO SAULO SIMÕES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Pesquisador Dr. IURI STEFANO NEGRÍSIOLO DÁRIO (Participação Presencial)
Pesquisa e Desenvolvimento / Campo Verde Pesquisas Agrômicas

Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Botucatu, 11 de agosto de 2023.

A Deus e aos meus amados
pais, Mauricio e Sueli,
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda as graças concebidas e Nossa Senhora por guiar e iluminar meus caminhos.

Aos meus queridos pais, Mauricio e Sueli, pelo exemplo, força, amor e apoio incondicional em todas as fases da minha vida.

Ao meu noivo, Gabriel, por toda paciência e apoio, sempre presente em todos os momentos.

As minhas irmãs, Eloisa e Daniela, e toda a família por sempre me incentivarem e apoiarem.

Ao meu orientador Professor Dr. Carlos Gilberto Raetano por todos os ensinamentos, paciência, dedicação, apoio e companheirismo durante o mestrado.

Ao PROTEC - Grupo de Estudos em Tecnologia de Aplicação e seus integrantes de pós-graduação e graduação por todo apoio na condução dos experimentos.

Ao NUPAM - Núcleo de Pesquisa Avançadas em Matologia, ao Dr. Plinio Saulo Simões (coorientador), Diego e Raphael por todo suporte com as aplicações com o drone.

Ao projeto de pesquisa na linha de P&D ANEEL “Biomonitoramento e controle integrado de macrófitas e mosquitos do gênero *Mansonia (Diptera culicidae)* em uma região associada a um lago de usina hidroelétrica”, cujos recursos financeiros aportados pela empresa Santo Antônio Energia permitiram a aquisição do drone utilizado na pesquisa.

A Professora Dra. Maria Márcia por todo suporte nas análises estatísticas.

Ao secretário Nivaldo e a todos do Departamento de Proteção Vegetal e da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão - FEPE, em especial ao colaborador Dirceu.

As colaboradoras da pós-graduação por todo o suporte necessário durante o mestrado e a todos os professores e colaboradores da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de mestrado (Processo nº 2021/06854-8).

Parte do presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - CAPES - Código de financiamento 001.

RESUMO

Os drones vêm sendo utilizados para pulverização de produtos fitossanitários, porém estudos relacionados à eficiência e eficácia de controle fitossanitário com esses equipamentos ainda são pouco estudados, demandando novas pesquisas nesse meio. O objetivo do trabalho foi avaliar o controle de plantas daninhas, produtividade da cultura da soja, depósito e cobertura da pulverização comparando dois equipamentos pulverizadores: drone e pulverizador terrestre. Duas áreas experimentais foram conduzidas na safra 2021/22 localizadas na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial $2 \times 2 + 2$ [2 equipamentos pulverizadores: drone e terrestre; 2 números de aplicação dos herbicidas: 1 aplicação e 2 aplicações (sequencial) e 2 testemunhas: com e sem capina]. Para as aplicações dos tratamentos utilizou-se o drone pulverizador Pelicano 2020 da marca Sky Drones na taxa de aplicação de 15 L ha^{-1} e pulverizador de barras modelo Condor da Jacto na taxa de aplicação de 120 L ha^{-1} , ambos equipados com a ponta de pulverização hidráulica TT 11002. Os herbicidas utilizados foram: Roundup Original Di® (glifosato) e Select® (cletodim). A avaliação de controle das plantas daninhas foi realizada conforme escala da SBPCPD e, também avaliada a produtividade da cultura. As avaliações qualitativa das pulverizações foram realizadas por meio da cobertura e depósito das gotas. Também foram mensuradas a faixa de deposição e a capacidade operacional do drone no experimento. Os resultados demonstraram eficácia de controle tanto nas aplicações sequenciais de herbicidas com o drone pulverizador quanto o pulverizador terrestre para três espécies de plantas daninhas em estudo. A cobertura da pulverização foi menor nas pulverizações com o drone quando comparados à pulverização terrestre, em especial na pulverização realizada no estágio de desenvolvimento V4 da soja. O depósito da pulverização foi maior para as aplicações com drone pulverizador comparadas com pulverizador de barras chegando a valores quatro vezes maior em V7. O estande, peso de mil grãos e a produtividade da soja foram menores no tratamento testemunha sem capina comparada àquela com capina e aos demais tratamentos. A faixa de deposição com o drone, nas condições operacionais, foi de 5 metros. A capacidade operacional do drone mostrou-se

condizente com as informações do fabricante, realizando a aplicação na taxa de 10 L ha⁻¹ em tempo menor que 7 minutos, independente do desenho da área.

Palavras-chave: *Glycine max*; herbicidas; tecnologia de aplicação; vant.

ABSTRACT

The drones have been widely used for phytosanitary products sprayering, but studies related to the efficiency and effectiveness of phytosanitary control with this sprayer equipment are still investigated, demanding new research in this knowledge area. The goal of the work was to evaluate weed control, soybean yield, deposition and sprayer coverage comparing two sprayering equipments: drone and ground sprayer. Two experimental areas were conducted in the 2021/22 crop season, located in the Farm of the School of Agronomic Sciences - UNESP, Botucatu Campus. The experimental design was entirely randomized and the treatments were distributed in a $2 \times 2 + 2$ factorial scheme (2 sprayering equipments: drone and ground sprayer; 2 herbicide application numbers: 1 application and 2 applications (sequential) and 2 controls: with and without weeding). The treatments were applied using a Sky Drones Pelicano 2020 drone sprayer at an application rate of 15 L ha^{-1} and a Jacto Condor ground boom sprayer at an application rate of 120 L ha^{-1} , both equipped with a TT 11002 hydraulic spray nozzle. The herbicides Roundup Original Di[®] (glyphosate) and Select[®] (clethodim) were used in the treatments. Weed control was evaluated according to the SBCPD scale, and crop yield was also evaluated. The qualitative and quantitative evaluations of the sprayering were performed by means of the coverage and deposition of droplets. The deposition range and the operational capacity of the drone in the experiment were also measured. The results showed control efficacy in both sequential applications of herbicides with the drone and the ground sprayer for three weed species under study. Spray coverage was lower for drone spraying compared to ground spraying, especially when spraying at the V4 stage of soybean development. Spray deposit level was higher for drone applications compared to boom spraying, reaching values four times higher at V7. The stand, thousand-grain weight, and yield of soybeans were lower in the control treatment without weeding compared to the one with weeding and the other treatments. The deposition range, under operational conditions, was 5 meters. The operational capacity of the drone proved to be consistent with the manufacturer's information, performing the application at the rate of 10 L ha^{-1} in less than 7 minutes, regardless of the design of the area.

Keywords: *Glycine max*; herbicide; application technology; UAV.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
 CAPÍTULO 1 - ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDA: DRONE VERSUS PULVERIZADOR DE BARRAS E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO DRONE PELICANO	 17
1.1 INTRODUÇÃO	20
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	21
1.2.1 CONDUÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
1.2.2 CONDIÇÕES OPERACIONAIS	22
1.2.4 FAIXA DE DEPOSIÇÃO DO DRONE PULVERIZADOR.....	24
1.2.5 AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DA PULVERIZAÇÃO	26
1.2.6 CAPACIDADE OPERACIONAL DO DRONE PULVERIZADOR	28
1.2.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	30
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
1.3.1 ANÁLISE QUALITATIVA DA PULVERIZAÇÃO	30
1.3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DA PULVERIZAÇÃO.....	32
1.3.3 FAIXA DE DEPOSIÇÃO DO DRONE PULVERIZADOR.....	33
1.3.4 CAPACIDADE OPERACIONAL DO DRONE	35
2.4 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS.....	40
 CAPÍTULO 2 - CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA: DRONE PULVERIZADOR VERSUS PULVERIZADOR TERRESTRE	 42
2.1 INTRODUÇÃO	44
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	45
2.2.1 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	45
2.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	46

2.2.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS DOS PULVERIZADORES.....	48
2.2.4 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO.....	49
2.2.5 AVALIAÇÃO DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS	51
2.2.6 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE	52
2.2.7 ANÁLISE DOS DADOS	53
 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	 53
2.3.1 EXPERIMENTO 1.....	53
2.3.2 EXPERIMENTO 2.....	66
 2.4 CONCLUSÕES.....	 78
 REFERÊNCIAS	 79
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 81
 REFERÊNCIAS.....	 83

INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a cultura mais cultivada no país e o Brasil o maior produtor mundial dessa oleaginosa. Na safra agrícola 2022/23, a soja foi cultivada em 43.561,9 mil ha, com produção de 153.633,0 mil toneladas de grãos e produtividade média de 3.527 kg ha⁻¹. Com incremento de 5,0% da área plantada, 22,4% de produção e 16,6% na produtividade em relação à safra 2021/22 (CONAB, 2023).

Nas lavouras de soja problemas fitossanitários, como as plantas daninhas, podem proporcionar estresses bióticos, prejudicando o desenvolvimento e expressão do potencial produtivo da soja, afetando diretamente na produtividade (MORAIS; BORÉM, 2015). A expressão do potencial produtivo da cultura depende das condições de cultivo as quais é exposta, sendo o controle das plantas daninhas considerado de extrema importância (CAVENAGHI; CARBONARI, 2019). O manejo adequado das plantas daninhas por meio da proteção de plantas é imprescindível para minimizar ao máximo os riscos de reflexo negativo na produtividade da cultura (CARVALHO et al., 2020).

Dos métodos de controle das plantas daninhas, o químico é o mais utilizado. Além da escolha do herbicida adequado para o cenário que a lavoura e as espécies de plantas daninhas se encontram, fatores ligados à tecnologia de aplicação influenciam diretamente na eficácia de controle das plantas daninhas. Para isso, a tecnologia de aplicação deve ser empregada de maneira correta de forma a propiciar incrementos na produtividade da cultura (CUNHA et al., 2011), através da correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo na dose requerida, com economia e segurança ambiental (MATUO, 1990; CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018).

A pulverização com equipamentos terrestre é a mais utilizada pelos agricultores, por ser considerado de fácil manuseio e maior eficiência de trabalho, principalmente em áreas cultivadas maiores (PEREIRA et al., 2018). Novos equipamentos de pulverização estão sendo empregados na aplicação de produtos fitossanitários nas lavouras, sendo os veículos aéreos não tripulados, drones pulverizadores, considerados bastante promissores (BECKER et al., 2020).

A aplicação de produtos fitossanitários nas lavouras com drone avançou significativamente nos últimos anos no Brasil com o estabelecimento de normas específicas regulamentadoras para o segmento. Em 2017, pela Agência Nacional de Aviação Civil, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 94 (RBAC-E N° 94) estabelece algumas normas para a utilização dos drones (ANAC, 2017) e a Portaria N° 298, de 22 de setembro de 2021 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que estabelece normas para o uso de drones na aplicação de produtos fitossanitários (MAPA, 2021).

No entanto, mesmo com o avanço na utilização desta ferramenta, estudos sobre as premissas da tecnologia de aplicação ligadas aos drones ainda são incipientes, demandando conhecimento de eficiência da aplicação e eficácia de controle, atendendo adequadamente os parâmetros econômicos e ambientais.

Diante do exposto, torna-se premente avaliar a aplicação de herbicida, em pós-emergência, no controle de plantas daninhas na cultura da soja comparando a tecnologia de pulverização com drone e terrestre (convencional). Para isso foram testadas as seguintes hipóteses: h_0 - a aplicação de herbicidas com drone pulverizador, em pós-emergência, na cultura da soja aumenta a acurácia no controle, a qualidade da aplicação e a capacidade operacional em comparação à aplicação com pulverizador terrestre (convencional) e; h_1 - a aplicação de herbicidas com drone, em pós-emergência, na cultura da soja não diferencia da aplicação com o pulverizador terrestre para as variáveis em estudo.

A dissertação é composta por dois capítulos: 1: Análise quali-quantitativa da aplicação de herbicidas: drone versus pulverizador de barras e condições operacionais do drone Pelicano; 2: Controle de plantas daninhas na cultura da soja: drone pulverizador versus pulverizador terrestre.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS: DRONE VERSUS PULVERIZADOR DE BARRAS E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO DRONE PELICANO

RESUMO

A aplicação de produtos fitossanitários com drone pulverizador ainda possui questionamentos em relação à tecnologia de aplicação. O entendimento da deposição e cobertura da pulverização, faixa de deposição e capacidade operacional tem grande variação com o modelo de drone e condições operacionais estabelecidas. Assim, o objetivo do estudo foi comparar o depósito e cobertura da pulverização de herbicidas na cultura da soja para controle de plantas daninhas em pós-emergência com drone e pulverizador de barras, bem como determinar a largura da faixa de deposição e a capacidade operacional do drone pulverizador, modelo Pelicano 2020. Duas áreas experimentais foram conduzidas na FCA-UNESP, Botucatu, SP, na safra 2021/22. Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos distribuídos no esquema fatorial 2 x 2 (2 pulverizadores: drone e pulverizador de barras; 2 épocas de aplicação: estágio fenológico da soja V4 e V7), em 4 repetições. O depósito foi avaliado pela adição do corante Azul Brilhante como marcador na calda de pulverização. Posteriormente à pulverização as folhas das plantas daninhas foram coletadas e a concentração do marcador analisada por espectrofotometria correlacionando-a com a área foliar. A cobertura foi avaliada por meio de papéis hidrossensíveis dispostos em cada unidade experimental e analisados posteriormente pelo *software* Gotas. A largura da faixa de deposição foi estabelecida pelo método de espectrofotometria do fio. A capacidade operacional do drone foi aferida em dois desenhos de áreas, contabilizando todo tempo da operação. A cobertura da pulverização foi significativamente menor para a aplicação com drone pulverizador quando comparado com o pulverizador terrestre de barras para ambos estádios fenológicos da soja nas duas áreas experimentais. O depósito da pulverização foi maior para as aplicações com drone pulverizador comparadas com pulverizador de barras chegando a valores quatro vezes maior em V7. A taxa de aplicação do drone pulverizador foi oito vezes menor que a do pulverizador terrestre. A faixa de deposição nas condições operacionais foi de 5 metros. A capacidade

operacional do drone foi a esperada de acordo com o fabricante, 10 L ha⁻¹ com tempo de aplicação menor que 7 minutos em cada hectare independente do desenho de área.

Palavras chave: qualidade da pulverização; herbicidas; veículo aéreo não tripulado; tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

The application of phytosanitary products with a sprayer drone still has many questions regarding the application technology. The understanding of sprayer deposition and coverage, deposition range and operational capacity varies greatly depending on the drone model and established operating conditions. Thus, the objective of the study was to compare the sprayer deposition and sprayer coverage of herbicide on soybean for post-emergence weed control with drone and boom sprayer, as well as to determine the width of the deposition range and the operational capacity of the sprayer drone, model Pelicano 2020. Two experimental areas were conducted at FCA-UNESP, Botucatu, SP, in 2021/22 season crop. The experiments were carried out in a completely randomized design with four treatments distributed in a 2 x 2 factorial scheme (2 sprayers: drone and boom sprayer; 2 application times: soybean phenological stage V4 and V7) with four replications. The sprayer deposit was evaluated by adding Brilliant Blue dye as a marker in the sprayer solution. After spraying, the weed leaves were collected and the marker concentration analyzed by spectrophotometry, correlating it with the leaf area. Sprayer coverage was evaluated using water-sensitive papers arranged in each experimental unit and subsequently analyzed using the Gotas software. The width of the deposition range was established by the wire spectrophotometry method. The operational capacity of the drone was measured in two drawings of areas, accounting for the entire operation time. Spray coverage was significantly lower for drone spray applications compared to ground sprayers for both soybean phenological stages in both experimental areas. Spray deposit level was higher for drone sprayer applications compared to boom sprayer, reaching values four times higher at V7. The application rate of the drone sprayer was eight times lower than that of the ground sprayer. The deposition range under operational conditions was 5 meters. The operational capacity of the drone was as

expected according to the manufacturer, 10 L ha⁻¹ with an application time of less than 7 minutes in each hectare, regardless of the area design.

Keywords: sprayer quality; herbicides; unmanned aerial vehicle; application technology.

1.1 INTRODUÇÃO

Dentre os riscos para a cultura da soja, merecem destaque as plantas daninhas, de ocorrência espontânea na lavoura ou proveniente de manejos inadequados em culturas antecessoras.

O controle químico, por meio das aplicações de herbicidas, ainda é a principal ferramenta de manejo das plantas invasoras. As aplicações em sua maioria são realizadas por pulverizadores terrestres montados no sistema hidráulico do trator, de arrasto ou autopropelidos. As aplicações aéreas também são realizadas nas lavouras de soja, sendo a cultura agrícola com maior área tratada com aplicações aéreas no Brasil, representando 10,7 milhões de hectares segundo levantamento realizado na safra 2017/18. No entanto, a porcentagem de área aplicada com aeronaves é a mais baixa em relação a outras culturas, chegando apenas a 10% da área total de produção de soja (CARVALHO et al., 2021).

Os drones pulverizadores vêm ganhando espaço nas aplicações de produtos fitossanitários. A limitação de aplicação em locais de difícil acesso, por meio de aviões agrícolas e pulverizadores terrestres, justifica o uso dessa tecnologia, evitando infestações de plantas daninhas nas lavouras. A aplicação localizada acarreta economia significativa de produtos e pode substituir a pulverização costal que possui capacidade operacional reduzida (ANDRADE et al., 2018). Já áreas encharcadas não são limitantes para a operação com drones, diferentemente do pulverizador terrestre, que muitas vezes pode não ter condições de realizar a operação nesses locais (CARVALHO et al., 2020).

A tecnologia de aplicação deve levar em consideração alguns aspectos importantes relacionados com o produto e equipamentos utilizados na pulverização, alvo biológico, cobertura e deposição de gotas e fatores de interferência. Esses aspectos culminam para que a eficiência máxima seja alcançada (ADEGAS; GAZZIERO, 2020) com uma aplicação economicamente viável e ambientalmente segura, garantindo a sustentabilidade do sistema (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018).

A avaliação da pulverização pode ser realizada pela fração coberta pela pulverização na área do alvo (RAETANO, 2019), ou ainda pelos depósitos da

pulverização, ocorrência de deriva e eficácia em atingir o alvo biológico desejado (BAESSO et al., 2014).

Estudos sobre a tecnologia de aplicação desses equipamentos se tornam essenciais para melhor entendimento da eficiência e qualidade de aplicação realizadas pelos drones. Por outro lado, a aplicação de herbicidas por meio de pulverizadores convencionais já é consagrada no controle de plantas daninhas. Assim, estudos comparando essas duas tecnologias são importantes na busca de métodos de aplicação mais econômicos e mais sustentáveis na produção agrícola.

Portanto, o objetivo do estudo foi comparar quali-quantitativamente a pulverização de herbicidas na cultura da soja realizada por drone pulverizador e pulverizador terrestre de barras, bem como mensurar a largura da faixa de deposição e a capacidade operacional do drone, modelo Pelicano 2020.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Condução e delineamento experimental

Dois experimentos foram conduzidos na Fazenda Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu, SP, na safra agrícola 2021/22, em sistema de produção convencional. O preparo do solo foi realizado com aração, gradagem, correção e adubação.

A semeadura da soja foi realizada no final de novembro, com a variedade Intacta RR2 PRO® Lagoa Bonita Sementes, com hábito de crescimento indeterminado recomendada para a região de Botucatu, SP, em espaçamento de 0,45 metros entre linhas de plantio e 14 sementes por metro linear. O tratamento de sementes foi on farm com inseticida fipronil associado aos fungicidas piraclostrobina e tiofanato metílico (Standak® Top), na dose de 2,0 mL do produto comercial em 5,0 mL de água por kg de semente e inoculante Biomax® na dose de 1,2 mL por kg de semente. O monitoramento de pragas e doenças foi realizado na condução da lavoura e, quando necessário, realizadas as aplicações de produtos fitossanitários (inseticidas e fungicidas) visando o controle de insetos-praga e fitopatógenos.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos distribuídos no esquema fatorial de 2 x 2 (aplicação de herbicida com drone pulverizador em V4; aplicação de herbicida com pulverizador de barras

terrestre em V4; aplicação de herbicida com drone pulverizador em V7; e, aplicação de herbicida com pulverizador de barras terrestre em V7) em 5 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Em cada área, as dimensões das parcelas foram 6 x 40 m (largura x comprimento), sendo considerada a área útil de 3 x 20 m centrais da parcela para avaliação.

1.2.2 Condições operacionais

As aplicações de herbicidas nos diferentes tratamentos foram realizadas no estágio fenológico da cultura da soja V4 (soja apresenta quatro folhas) em 22/12/2021 e V7 em 12/01/2022. Os herbicidas utilizados foram Roundup Original Di® (glifosato), 445 g i.a. L p.c.⁻¹ (Concentrado Solúvel - SL), não seletivo e Select® (cletodim), 0,240 kg g i.a. L p.c.⁻¹ (Concentrado Emulsionável - EC), graminicida. De acordo com as recomendações em bula para as espécies presentes nas áreas foram definidas as doses para todos os tratamentos: 2 L p.c ha⁻¹ (0,890 kg i.a. ha⁻¹) de Roundup Original Di® e 0,450 L p.c ha⁻¹ (0,108 kg i.a. ha⁻¹) de Select®.

Os equipamentos de pulverização utilizados foram: drone pulverizador modelo Pelicano da marca Sky Drones, multirotor com tanque de capacidade de 10 litros, composto por quatro rotor turbo hélice e 4 pontas de pulverização abaixo de cada rotor, sendo disposto nas quatro extremidades (Figura 1); pulverizador de barras terrestre, marca Jacto®, modelo Condor, montado em trator, constituído por uma barra de pulverização de 14,5 metros, com 29 conjuntos de bicos BiJeet espaçados de 0,50 m, com tanque de capacidade de 600 litros.

Para menor número de variáveis no experimento optou-se pela utilização da mesma ponta de pulverização hidráulica para ambos equipamentos de pulverização. A ponta hidráulica utilizada foi de jato plano, modelo TT 11002 (Figura 2), recomendada para aplicações de herbicidas não seletivos, como o glifosato. Em testes preliminares foi o modelo que se adequou e obteve o funcionamento para o drone pulverizador. Algumas pontas de pulverização com tecnologias de indução de ar não têm seu funcionamento adequado, por demandar maior pressão do sistema para a abertura do jato. Em testes preliminares a pressão exercida pelo drone não foi suficiente para abertura do jato em pontas com indução de ar.

Figura 1 - Drone pulverizador, modelo Pelicano 2020, da marca Sky Drones. Botucatu, SP, 2021.



A ponta de pulverização hidráulica com câmara de turbilhonamento (Turbo TeeJet®) altera a trajetória do fluxo líquido com redução da velocidade do líquido, gerando gotas maiores e com padrão de distribuição uniforme, funciona em ampla faixa de pressão indicada de 1 até 6 bar. Além do ângulo de 110°, possui menor sensibilidade à variação de altura em relação ao alvo (RAETANO; MOTA, 2019), esse fator também foi considerado, visto que a altura de voo do drone proporciona distância muito superior ao alvo em relação à altura comumente adotada nas aplicações de barras terrestres.

As taxas de aplicação foram estabelecidas de acordo com as condições de cada equipamento pulverizador. Para o pulverizador terrestre de barras adotou-se a taxa de aplicação de 120 L ha⁻¹ e para o drone pulverizador 15 L ha⁻¹. Para as condições de calibração de cada equipamento foi utilizada a velocidade de 8 km h⁻¹ para o convencional e 18 km h⁻¹ para o drone e altura de voo de 3 metros. As pressões de trabalho foram de 3,5 bar para pulverizador de barras e 1,5 bar para o drone.

Figura 2 - Ponta de pulverização hidráulica com câmara de turbilhonamento (Turbo TeeJet®) modelo TT 11002, marca TeeJet, Botucatu, SP, 2022.



Fonte: Maria Elena Silva Montanhani - 2022

As condições meteorológicas foram medidas com auxílio de termômetro digital (INSTRUTEMP®). No momento das aplicações foram mensuradas a velocidade do vento e a temperatura. Na primeira aplicação (V4) a velocidade de vento foi de $4,5 \text{ km h}^{-1}$ e temperatura de 30°C . Na segunda aplicação (V7) a velocidade de vento foi de $2,9 \text{ km h}^{-1}$ e temperatura de $28,5^{\circ}\text{C}$.

1.2.4 Faixa de deposição do drone pulverizador

Para a calibração do pulverizador de barras a faixa de aplicação adotada é a largura útil da barra do pulverizador (RAETANO; BOLLER, 2019). A faixa de deposição do pulverizador foi de 7,0 metros, pois utilizou-se apenas 50% da largura da barra para a aplicação devido à largura das parcelas experimentais. Não houve alteração de pressão e vazão no sistema pelo fato do pulverizador estar equipado com válvulas controladoras de pressão para seções individuais da barra e comando de débito proporcional entre as válvulas. Porém, na pulverização aérea essa teoria não se aplica, sendo necessário realizar a avaliação da faixa de aplicação para o sucesso da operação (CARVALHO; CUNHA, 2019). Sendo assim, testes preliminares foram necessários para obtenção da largura de faixa nas condições operacionais do drone pulverizador.

A avaliação da faixa de deposição do drone foi realizada pelo método de Inspeção de Faixa de Deposição (IFD) implementado no Brasil pela AgroEfetiva® em 2017 (CARVALHO et al., 2020), método bastante utilizado para determinação da faixa efetiva de deposição das gotas em aviões agrícolas e aplicado também a drones pulverizadores. O método consistiu na disposição horizontal de um fio de poliéster

onde o drone pulverizou água juntamente com corante (Figura 3). Após a pulverização, o fio foi recolhido em cada aplicação, totalizando uma amostra composta de três repetições e após analisou-se em espectrofotômetro de fio (CARVALHO; CUNHA, 2019). Assim pode-se determinar a faixa efetiva de deposição (homogeneidade na densidade de gotas), que nas condições avaliadas foi de 5,0 m para o drone Pelicano 2020 (Figura 4). Essa faixa de aplicação foi utilizada para a calibração do drone nas aplicações realizadas nos experimentos.

Figura 3 - Sistema de coleta de dados para a avaliação de faixa de deposição do drone pulverizador. Botucatu, SP, 2021.



Figura 4 - Avaliação da faixa de deposição do drone pulverizador Pelicano 2020. Botucatu, SP, 2021.



1.2.5 Avaliação qualitativa e quantitativa da pulverização

A avaliação do depósito e cobertura da pulverização nas plantas foram realizadas no mesmo dia das aplicações em ambas áreas experimentais. Para avaliação dos depósitos utilizou-se o marcador, corante Azul Brilhante, na calda de pulverização juntamente com os herbicidas.

O corante azul brilhante foi utilizado na mesma concentração de acordo com a área, no caso foram utilizados $1,5 \text{ g L}^{-1}$ na calda do pulverizador terrestre e 12 g L^{-1} no drone pulverizador. A concentração do marcador foi calculada de acordo com a taxa de aplicação utilizada em cada equipamento pulverizador e a mesma concentração de corante por área, $180 \text{ g de corante Azul Brilhante ha}^{-1}$.

Após a secagem da calda de pulverização as folhas das plantas foram coletadas, aleatoriamente, com quatro subamostras compostas por 5 folhas de espécies de plantas daninhas em cada parcela experimental. Posteriormente as folhas foram encaminhadas ao laboratório para extração do marcador. Para isso, 60 mL de água destilada foram adicionadas as amostras para a remoção do marcador e, após agitação, por meio da solução obtida foi quantificado o depósito do corante marcador

com auxílio do espectrofotômetro de bancada UV-VIS 1601 PC. O volume de deposição do alvo foi obtido através da equação 1 (E1).

O depósito da pulverização no alvo foi obtido por cálculos a partir da concentração de corante na calda, concentração do corante detectada no espectrofotômetro em absorbância e volume de diluição da amostra. Para relacionar o volume depositado na folha pela área foliar foi realizada a medição da área foliar com o auxílio do medidor de área foliar de bancada LICOR®, modelo LI-3100 - Area Meter (Figura 5).

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \quad (E1)$$

Em que:

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

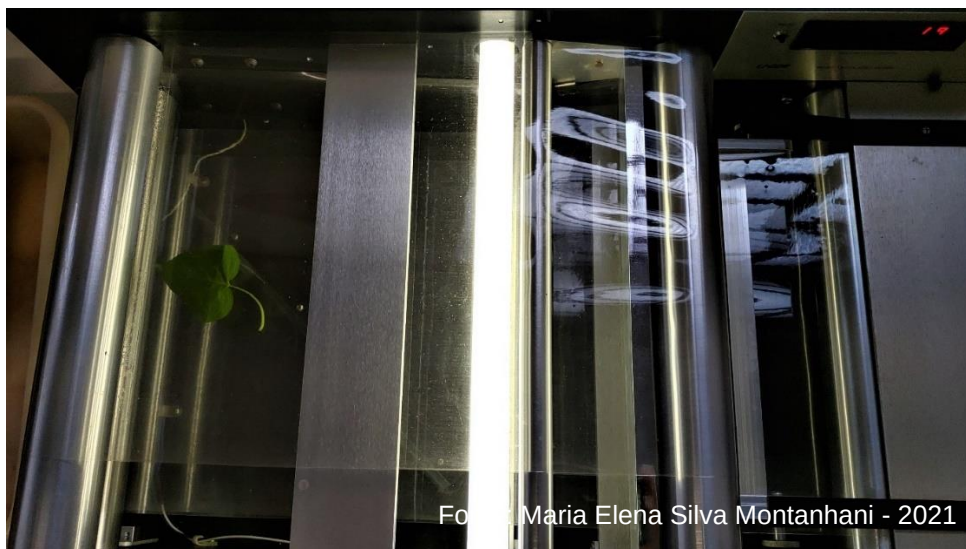
V_i = volume capturado pelo alvo (mL);

C_f = concentração do corante detectada no espectrofotômetro em absorbância (mg L^{-1});

V_f = volume de diluição da amostra (mL).

As amostras foliar foram analisadas no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Proteção Vegetal da FCA/UNESP por espectrofotometria (CERQUEIRA et al., 2012; PALLADINI; RAETANO; VELINI, 2005).

Figura 5 - Medidor de área foliar de bancada LICOR®, modelo LI-3100 - Area Meter. Botucatu, SP, 2022.



A cobertura de pulverização, proveniente de ambas as técnicas de aplicação, foi avaliada em papel hidrossensível distribuídos nas parcelas na altura equivalente ao topo das plantas daninhas na entrelinha da cultura da soja. Após a coleta, os papeis hidrossensíveis de cada parcela foram analisados, no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Proteção Vegetal da FCA/UNESP, com a digitalização das imagens dos cartões contendo as gotas. Para obter a porcentagem de cobertura da pulverização foi utilizado o scanner de mesa para a digitalização das imagens, com resolução mínima de 600 dpi, e posterior análise pelo software Gotas® (EMBRAPA, 2006).

1.2.6 Capacidade operacional do drone pulverizador

A capacidade operacional do drone, modelo Pelicano 2020 da Sky Drones, foi estimada e as condições operacionais foram as mesmas utilizadas para as aplicações dos experimentos: ponta de pulverização hidráulica de jato plano, modelo TT 11002, faixa de aplicação de 5,0 m, altura de voo de 3,0 m, taxa de aplicação utilizada de 10 L ha⁻¹ e velocidade de 10 m s⁻¹.

A avaliação da capacidade operacional foi realizada em quatro situações diferentes: dois desenhos de áreas e duas distâncias do ponto de decolagem ao ponto inicial da aplicação. Os desenhos das áreas foram estabelecidos a partir de 100 x 100 m representando dimensão quadrada e 80 x 125 m representando dimensão

retangular, totalizando em ambas as áreas 1,0 hectare para avaliação. As distâncias ao ponto de reabastecimento foram o ponto mais próximo e o mais distante da decolagem até o início da pulverização.

O volume inicial e final de calda, a voltagem inicial e final da bateria e o tempo requerido para carregamento da bateria, colocação da bateria no drone, abastecimento da calda, cruzeiro (decolagem até o ponto de início da pulverização), manobra (mudança de linha de aplicação), aplicação e voo total foram mensurados. Foi estimada a Capacidade de campo Operacional (C.c.O.) para cada desenho de área, com base na descrição proposta por Matuo (1990). A capacidade operacional foi estimada através da velocidade e tempo de manobra dos equipamentos de pulverização na área experimental. Para isso foi levado em consideração o espaçamento, comprimento das ruas, volume de aplicação do pulverizador e do drone, capacidade de depósito, tempo de preparo e jornada de trabalho, sendo utilizada a equação 2 (E2).

$$t = \frac{10000}{Va \times L} + \frac{10000 \times Tv}{C \times L} + \frac{d \times V}{Vd \times Ca} + \frac{Tr \times V}{Ca} \quad (E2)$$

Em que:

t= tempo para aplicar 1 ha (min ha⁻¹);

Va= velocidade de aplicação (m min⁻¹);

L= largura da faixa de aplicação (m);

Tv= tempo de manobra (min);

C= comprimento da faixa de tratamento (m);

d= distância total percorrida para cada reabastecimento (m);

V= volume de aplicação (L ha⁻¹);

Vd= velocidade de deslocamento para reabastecimento (m min⁻¹);

Ca= capacidade de tanque (L);

Tr= tempo de reabastecimento do tanque (min).

A capacidade operacional foi calculada a partir da equação 3 (E3) apresentada a seguir.

$$CcO = \frac{Jt - Tp}{Jd} \times \frac{60}{t} \quad (E3)$$

Em que:

CcO= capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);

t= tempo para aplicar 1 ha (min ha⁻¹) (E2);

Jd= jornada diária de trabalho (h);

Jt= jornada de trabalho (h);

Tp= tempo de preparo (h).

1.2.7 Análise dos dados

Os resultados obtidos nas avaliações dos dois experimentos foram organizados e analisados. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Análise qualitativa da pulverização

No experimento 1, a análise da cobertura de pulverização no estágio de desenvolvimento da soja V4 revelou porcentagens significativamente maiores para o pulverizador de barras (28,71%) comparado ao drone pulverizador (6,46%). O mesmo ocorreu na segunda aplicação, no estágio de desenvolvimento V7, com valor significativamente menor de cobertura (9,15%) na aplicação com o drone pulverizador comparado à obtida na aplicação com pulverizador de barras de 32,31% (Tabela 1).

Resultados semelhantes foram observados no experimento 2 (Tabela 2). A cobertura da pulverização foi significativamente maior para a aplicação com o pulverizador de barras. No estágio de desenvolvimento V4 a cobertura da pulverização com o pulverizador de barras foi 33,39% e para o drone 3,84%. Já na pulverização em V7, as porcentagens de cobertura foram 28,97% e 4,52%, respectivamente (Tabela 2).

A cobertura do alvo biológico é considerada essencial para a eficácia de controle, em especial para produtos com modo de ação por contato. Na literatura existem várias recomendações de cobertura para aplicação de produtos fitossanitários. VOLL et al. (2019) citam que para herbicidas sistêmicos a densidade de gotas de 20 a 30 gotas cm^{-2} maiores que 200 μm e para herbicidas de contato 30 a 50 gotas cm^{-2} de 150 a 300 μm são adequadas. Porém esse fator pode ser variável de acordo com o produto utilizado. De maneira geral herbicidas de contato demandam maior cobertura da pulverização no alvo para surtir o efeito desejado. Já herbicidas sistêmicos, pela absorção e translocação na planta, atuam satisfatoriamente com níveis menores de cobertura da pulverização sobre a superfície alvo.

Tabela 1 - Valores médios de cobertura (%) da pulverização em papel hidrossensível na 1ª aplicação (V4) e 2ª aplicação (V7) em soja, no experimento 1, com diferentes tecnologias. Safra agrícola, 2021/22. Botucatu, SP.

Pulverizador	Cobertura (%) V4	Cobertura (%) V7
Drone	6,46b	9,15b
Pulverizador de barras	28,71a	32,31a
Causa da variação	Teste F	Teste F
Pulverizador (P)	34,32*	12,08*
CV (%)	43,19	45,46

^{NS}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (linha) não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 2 - Valores médios de cobertura (%) da pulverização em papel hidrossensível na 1ª aplicação (V4) e 2ª aplicação (V7) em soja, no experimento 2, com diferentes tecnologias. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Pulverizador	Cobertura (%) V4	Cobertura (%) V7
Drone	3,84b	4,52b
Pulverizador de barras	33,39a	28,97a
Causa da variação	Teste F	Teste F
Pulverizador (P)	154,07*	117,06*
CV (%)	25,58	19,08

^{NS}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (linha) não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

1.3.2 Análise quantitativa da pulverização

Os valores médios de depósito da pulverização de herbicida nos dois momentos de aplicação, no experimento 1, estão descritos na Tabela 3. Na primeira pulverização, soja no estágio fenológico V4, o depósito foi $1,3313 \mu\text{g cm}^{-2}$ nos tratamentos com o drone pulverizador, numericamente maior aquele obtido com o pulverizador de barras ($0,4520 \mu\text{g cm}^{-2}$). Na segunda pulverização, soja em V7, os valores de depósito tiveram o mesmo comportamento, o depósito na pulverização com drone e pulverizador de barras foi de $1,3109$ e $0,3162 \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente.

O depósito da pulverização de herbicida no experimento 2 (Tabela 4), apresentou na primeira pulverização (V4) valores maiores para a pulverização com drone ($0,7980 \mu\text{g cm}^{-2}$) e pulverizador de barras ($0,4899 \mu\text{g cm}^{-2}$). Na segunda aplicação (V7) o depósito com o drone pulverizador foi $0,4066 \mu\text{g cm}^{-2}$ e com o pulverizador de barras de $0,1013 \mu\text{g cm}^{-2}$.

Maiores valores de depósito da pulverização nos tratamentos com pulverizador de barras é esperado devido à maior taxa de aplicação, uma vez que a taxa de aplicação do drone pulverizador foi 8 vezes menor. Porém, quando se observa os resultados referentes à concentração de corante presente na deposição da pulverização obtido pode ser destacado valores numericamente maiores para o drone pulverizador comparados com o pulverizador de barras nos dois experimentos estudados, chegando a valores 4 vezes maior na segunda aplicação (V7).

A dose de corante utilizada em ambas tecnologias foram proporcionais a dose dos herbicidas, logo a quantidade de ingrediente ativo herbicida que atingiu o alvo foi maior com a tecnologia do drone pulverizador. Outro fato importante em relação ao herbicida glifosato, é que possui características de translocação rápida após a penetração na folha atingindo todas as células do domínio, seja pelos tubos crivados do floema e via plasmodesmos (célula a célula) atuando como complementares (LAMEGO; SCHAEGLER, 2019). Sendo assim, quando depositada a dose necessária, não demanda níveis de cobertura e deposição maiores para desempenhar o efeito herbicida.

Tabela 3 - Valores médios de depósito da pulverização (μg de corante cm^{-2} de folha) na 1ª aplicação em soja (V4) e 2ª aplicação (V7), no experimento 1, com diferentes tecnologias. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Pulverizador	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$) V4	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$) V7
Drone	1,3313	1,3109
Pulverizador de barras	0,4520	0,3162
Causa da variação	Teste F	Teste F
Pulverizador (P)	1,96 ^{ns}	2,65 ^{ns}
CV (%)	140,75	106,23

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (linha) não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 4 - Valores médios de depósito da pulverização (μg de corante cm^{-2} de folha) na 1ª aplicação em soja (V4) e 2ª aplicação (V7), no experimento 2, com diferentes tecnologias. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Pulverizador	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$) V4	Depósito ($\mu\text{g cm}^{-2}$) V7
Drone	0,7980	0,4066
Pulverizador de barras	0,4899	0,1013
Causa da variação	Teste F	Teste F
Pulverizador (P)	4,43 ^{ns}	2,74 ^{ns}
CV (%)	45,45	102,80

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (linha) não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

1.3.3 Faixa de deposição do drone pulverizador

O Drone Pelicano demonstrou faixa de deposição satisfatória nas condições operacionais utilizadas. A faixa de deposição do drone, modelo Pelicano 2020, marca Sky Drones que melhor atendeu as condições operacionais correspondendo a altura de 3,0 metros com a ponta de pulverização hidráulica de jato plano, modelo TT11002, marca TeeJet, foi de 5,0 metros. Para obtenção da largura da faixa de deposição foi considerado o Coeficiente de Variação (C.V.%), indicativo da uniformidade da aplicação, bem como a uniformidade da distribuição da pulverização ao longo da faixa.

A faixa de deposição total corresponde a distância total de onde as partículas da pulverização foram depositadas e a faixa de deposição efetiva corresponde a distância em que a deposição da pulverização atende as necessidades,

correspondendo a faixa com o CV aceitável. Quanto menor o CV, a aplicação é caracterizada como mais uniforme. Outra definição importante é a faixa de deposição efetiva que compreende a sobreposição das passagens do drone (CARVALHO et al., 2021).

Os coeficientes de variação para dois sentidos de voo são descritos na Figura 6, com suas respectivas faixas de deposição. A faixa de 5,0 metros obteve C.V. de 16% para voo no sentido espiral 11% no sentido back-to-back (faixas justapostas). O perfil de distribuição da pulverização do drone, onde a linha de coloração verde representa a faixa de deposição total e a linha pontilhada de coloração preta representa a faixa de deposição efetiva, os quais podem ser visualizados na Figura 7.

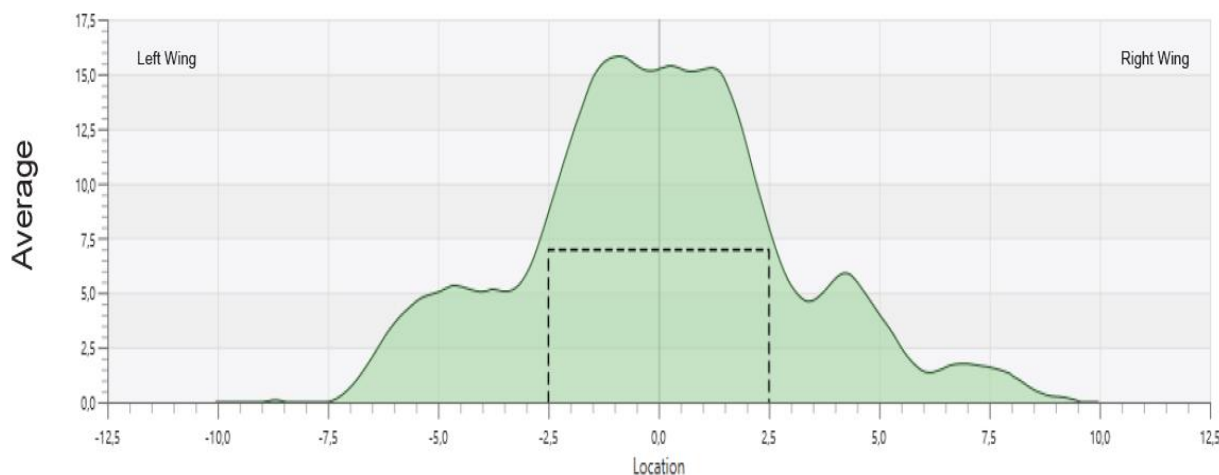
Estudos com outros modelos de drone com mesma capacidade de carga (10 litros) obtiveram faixa de deposição menores, como exemplo o modelo P20 da marca XAG apresentou faixa de deposição de 4,0 metros considerando o C.V. de 15% (CARVALHO et al., 2021).

Figura 6 - Largura de deposição (*Swath*) e o coeficiente de variação (C.V.) para voo sentido espiral (*racetrack*) e faixas justapostas (*back-to-back*). As setas indicam o C.V. para a faixa de 5,0 metros. Botucatu, SP, 2021.

Swath (m)	CV (RT)	CV (BF)
0,5	N/A	N/A
1,0	3 %	1 %
1,5	2 %	1 %
2,0	7 %	2 %
2,5	8 %	3 %
3,0	11 %	10 %
3,5	12 %	10 %
4,0	7 %	3 %
4,5	13 %	6 %
→ 5,0	16 %	11 % ←
5,5	15 %	15 %
6,0	14 %	19 %
6,5	19 %	22 %
7,0	21 %	21 %
7,5	20 %	20 %
8,0	21 %	21 %
8,5	23 %	23 %
9,0	26 %	26 %
9,5	30 %	29 %

Fonte: AgroEfetiva, 2021.

Figura 7 - Perfil de distribuição da faixa de deposição do drone, modelo Pelicano 2020, da marca Sky Drones. Eixo x (horizontal) indica distância (metros) e o eixo y (vertical) a quantidade de corante em cada ponto do fio. Botucatu, SP, 2021.



Fonte: AgroEfetiva, 2021.

1.3.4 Capacidade operacional do drone

A área com desenho 100 x 100 metros (quadrada) evidencia as linhas de aplicação e o número de manobras requeridas para a área de 1 ha nessas dimensões, sendo necessárias 19 linhas de aplicação, demandando 18 manobras (Figura 8). Já na área de 125 x 80 metros foram necessárias 25 manobras e 26 linhas pulverizadas (Figura 9).

Nas Figuras 8 e 9 são ilustrados os mapeamentos das aplicações e o sentido de voo “faixas justapostas” (back-to-back) é evidenciado, porém a sobreposição é realizada pelo lado oposto, pois esse modelo de drone possui característica de pulverizar nos dois sentidos, de frente e de costas. Desta maneira o lado direito sobrepõe o rastro esquerdo e o esquerdo sobrepõe o direito.

Figura 8 - Mapeamento da aplicação realizada pelo Drone Pelicano 2020, na área com dimensões quadradas, Botucatu, SP, 2023.



Fonte: Relatório de voo, 2023.

Figura 9 - Mapeamento da aplicação realizada pelo Drone Pelicano 2020, na área com dimensões retangulares. Botucatu, SP, 2023.



Fonte: Relatório de voo, 2023.

A avaliação da capacidade operacional do drone demonstrou um consumo médio de 4,9 Volts nos voos realizados em situações distintas, sendo valores de

consumo muito próximo. Em ambas as áreas foram utilizados o volume de 10 L de calda para aplicação em 1,0 hectare.

O tempo médio para carregamento da bateria foi de aproximadamente 1 hora e 18,26 minutos, esse valor varia em relação à bateria e sua vida útil. Outro fator importante em operações com drone é o número de bateria disponível e a velocidade potencial do carregador, sendo fatores determinantes para o número de operações em determinado período. O tempo para colocar a bateria e abastecer a calda no drone demonstraram variações, porém sempre um tempo semelhante em média 28 s e 62 s, respectivamente.

Independente do desenho da área o tempo de cruzeiro foi maior, como esperado, nas aplicações iniciadas no ponto mais distante da decolagem 36 segundos e 16,5 segundos para o ponto mais próximo. Os tempos de aplicação nos diferentes tratamentos não tiveram diferenças expressivas numericamente, porém quando observado o tempo total de manobra nas diferentes áreas verifica-se que na área quadrada foi de 89 segundos e na área retangular 108,5 segundos. Isso ocorre devido ao maior número de faixas de aplicação, necessitando de mais manobras. Na área quadrada foram necessárias 19 faixas de aplicação e na área retangular 26 faixas (Figuras 8 e 9). Ao mensurar os tratamentos iniciados no ponto mais próximo o tempo total de voo foi de 374 segundos na área quadrada em contrapartida 394 segundos na área retangular, demandando maior tempo por ter mais manobras no voo. O mesmo ocorreu para o início no ponto mais distante 403 e 419 segundos, respectivamente (Tabela 7).

Essas situações ilustram as condições de aplicação no campo, áreas mais estreitas que demandam maiores manobras necessitam de maior tempo de voo, porém isso não reflete no volume de calda utilizado, pois é pulverizado apenas na linha acionando o desligamento nas manobras. No consumo de bateria não houve diferença expressiva ao considerar o desenho da área estudada, porém em talhões mais estreitos e que demandam mais manobras o consumo de bateria pode aumentar para aplicar 1,0 hectare.

A Capacidade de Campo Operacional calculada obteve valores de 8,92 hectares por hora para o desenho de área 100 x 100 m (área quadrada) e 8,76 hectares por hora para a área de 80 x 125 m. Essas condições são possíveis quando

se tem disponibilidade de bateria para realizar as operações. Portanto deve ser levado em consideração o número de baterias disponíveis, além do tempo que as mesmas levam para serem carregadas e estarem disponíveis. Diante disso, a Capacidade de Campo Operacional é limitada pelo número de baterias disponíveis, considerando que as demais condições de aplicação ideais sejam atendidas.

Tabela 5 - Volume de calda, voltagem da bateria, tempos de colocar bateria e reabastecimento de calda no drone, tempo de cruzeiro, manobra, aplicação e total de voo, distância pulverizada e voada pelo drone da marca Sky Drones, modelo Pelicano 2020. Botucatu, SP, 2023.

Ponto de início da aplicação	Área quadrada (100 x 100 m)		Área retangular (125 x 80 m)	
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
Volume de calda inicia (L)	10	10	10	10
Volume de calda final (L)	0	0	0	0
Voltagem inicial da bateria (V)	50,22	50,46	50,19	49,81
Voltagem final da bateria (V)	45,32	45,52	45,3	45,14
Tempo para substituir a bateria (s)	30	36	23	24
Tempo de reabastecimento da calda (s)	56	75	59	58
Tempo de cruzeiro (s)	16	35	17	37
Tempo de manobra (s)	4,55	4,35	4,08	4,6
Tempo total de manobra (s)	91	87	102	115
Tempo de aplicação (s)	267	287	275	267
Tempo total de voo (s)	374	403	394	419
Distância pulverizada (m)	2.092,76	2.127,34	2.156,94	2.110,77
Distância voada (m)	2.252,74	2.340,45	2.332,93	2.348,78

2.4 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais realizadas, conclui-se que:

O drone pulverizador proporcionou menor cobertura quando comparado com o pulverizador de barras nos dois experimentos conduzidos na safra agrícola 2021/2022. Os depósitos da pulverização foram maiores para os tratamentos com drone pulverizador, em ambas aplicações e experimentos.

A faixa de deposição do drone, modelo Pelicano 2020, Sky Drones, estimada em 5,0 m para a altura de voo de 3,0 m foi considerada satisfatória de acordo com coeficiente de variação de 16% sentido espiral e de 11% sentido “faixas justapostas”, condições operacionais e uniformidade de distribuição das gotas de pulverização.

A capacidade de campo operacional do drone mostrou-se condizente com as informações do fabricante, realizando a aplicação na taxa de 10 L ha⁻¹ em tempo menor que 7 minutos em área equivalente a 1,0 hectare, independente do desenho da área.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JR., A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. Tecnologias de produção de soja. Embrapa Soja, Londrina, PR, n. 17, p. 281-292, 2020.
- ANDRADE, J. M. A.; PRETTO, D. R.; CARVALHO, E. V.; BOLONHEZI, D.; SCARPELLINI, J. R.; VIEIRA, B. C. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Revista Ingeniería y Región**. v. 20, p. 73-78, 2018.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014.
- CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. **Entendendo a tecnologia de aplicação: Aviões, helicópteros e drones de pulverização**. Botucatu: FEPAF, 2 ed. Ver. Ampl, p. 96, 2021.
- CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges o fair craft and drone sprayer applications. **Outlooks on Pest Management**, 6 p., 2020.
- CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. **Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 213-222, 2019.
- CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. **Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 261-282, 2019.
- CERQUEIRA, D. T. R. de; RAETANO, C. G.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; PRADO, E. P.; CHRISTOVAM, R. S.; SERRA, M.E.; COSTA, S.I.A. Agricultural sprayer deposit quantification methods. **Applied Engineering in Agriculture**, ASABE, v.28, n.6, p. 825-831, 2012.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 10, n. 4, p. 1-83, Jan, 2023.
- CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de análise de deposição de agrotóxicos GOTAS, versão 2.2**. Embrapa Informática Agropecuária e Embrapa Meio Ambiente: 2006.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, p. 139, 1990.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of sprayer deposits. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 15-28, 2019.

RAETANO, C. G.; BOLLER, W. **Regulagens e calibração de pulverizadores**. In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 91-103, 2019.

RAETANO, C. G.; MOTA, A. A. B. **Pontas de pulverização hidráulicas**. In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 67-89, 2019.

VOLL, E.; BRIGUENTI, A.; GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S. **Árvore do conhecimento: Tecnologia de aplicação de herbicidas**. Embrapa: Agência Embrapa de Informações Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejo-de-plantas-daninhas/tecnologia-de-aplicacao-de-herbicidas>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

CAPÍTULO 2

CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA: DRONE PULVERIZADOR *VERSUS* PULVERIZADOR TERRESTRE

RESUMO

A aplicação de herbicidas com drone pulverizador é prática empregada nas lavouras de soja, porém a eficácia da pulverização de herbicidas no controle de plantas daninhas com esta técnica de aplicação ainda é pouco conhecida. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o controle de plantas daninhas na cultura da soja com aplicação de herbicida via drone pulverizador e pulverizador de barras terrestre. Duas áreas experimentais foram conduzidas, na safra 2021/22, na área experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Botucatu, SP. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e os tratamentos distribuídos no esquema fatorial $2 \times 2 + 2$ [2 equipamentos pulverizadores: drone e terrestre; 2 momentos de aplicação dos herbicidas: aplicação em V4 e aplicações em V4 e V7 (sequencial) e 2 testemunhas: com e sem capina]. Os herbicidas utilizados foram glifosato e cletodim, na dose de $1,630 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$ e $0,108 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$, respectivamente. Antes da aplicação realizou-se o levantamento fitossociológico, por meio do método do quadrado inventário, para a caracterização das espécies de plantas daninhas presentes na área. As avaliações de controle das plantas daninhas foram realizadas conforme escala da SBCPD, aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DA1A (dias após primeira aplicação). Na colheita também foram avaliados o estande (plantas m^{-1}), peso de mil grãos (kg) e produtividade (kg ha^{-1}). As espécies avaliadas foram apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*). Aos 42 DA1A o controle foi considerado excelente no tratamento com aplicação sequencial dos herbicidas com drone pulverizador para as espécies estudadas, o mesmo observado na aplicação com pulverizador terrestre de barras. A pulverização com drone pulverizador demonstrou ser eficaz no controle, mas não descartou a necessidade de duas aplicações na condição de infestação da área experimental. A testemunha sem capina demonstrou produtividade, estande e peso de mil grãos menores quando comparada com os demais tratamentos.

Palavras-chave: herbicidas, veículo remotamente pilotado, tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

The application of herbicides with a sprayer drone is a practice employed in soybean crops, but the effectiveness of herbicide spraying with this application technique in weed control are still little studied. Thus, the objective of the study was to evaluate the control of weeds in soybean crop with herbicide application via drone sprayer and ground boom sprayer. Two experimental areas were conducted, in the 2021/22 crop season, in experimental area of School of Agronomical Sciences - UNESP, Botucatu, SP, Brazil. The experimental design was entirely randomized and the treatments distributed in a $2 \times 2 + 2$ factorial scheme [2 sprayer equipments: drone and boom sprayer; 2 times of application of herbicides: application in V4 and applications in V4 and V7 (sequential) and 2 checks: with and without weeding]. The glyphosate and clethodim herbicides were used at dosages of $1.630 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$ and $0.108 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$, respectively. Before application, a phytosociological survey was performed using the inventory square method to characterize the weed species present in the area. Weed control evaluations were performed, according to the SBSPD scale, at 07, 14, 21, 28, 35 and 42 DA1A (days after first application). In the harvest stand (plants m^{-1}), thousand grain weight (kg) and yield (kg ha^{-1}) were also evaluated. The species evaluated were fire blight (*Alternanthera tenella*), ragweed (*Cenchrus echinatus*) and turnip rape (*Raphanus raphanistrum*). At 42 DA1A, the control was considered excellent in the treatment with sequential application of the herbicides using a drone sprayer for these weed studied, and the same was observed in the application with a boom sprayer. Spraying with a drone sprayer proved to be effective in control, but did not rule out the need for two applications in the infestation condition of the experimental area. The check treatment without weeding showed lower soybean crop yield, stand and thousand grain weight when compared to the other treatments.

Keywords: herbicides; remotely piloted vehicle; application technology.

2.1 INTRODUÇÃO

A soja é destaque no Brasil e no mundo, sendo a oleaginosa mais produzida. O Brasil é o maior produtor mundial de soja com produção de 153.633,0 mil toneladas de grãos na área de 43.561,9 mil ha na safra 2022/23, alcançando produtividade de 3.527 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Para a obtenção dos melhores desempenhos produtivos da cultura é primordial o manejo das plantas daninhas.

Devido as perdas que as plantas daninhas podem causar na produção da soja, o controle torna-se necessário com intuito de eliminar ou diminuir a infestação, chegando a níveis considerados aceitáveis de convivência entre as plantas, sem desencadear prejuízos à cultura (VARGAS; ROMAN, 2006).

No Brasil, o manejo das plantas daninhas nas culturas agrícolas é predominantemente realizado com o herbicida glifosato. O glifosato [N-(fosfonometil) glicina] é um herbicida de ação sistêmica, aplicado em pós-emergência e não seletivo para espécies de plantas mono e eudicotiledôneas. Seu mecanismo de ação é a inibição da enzima EPSPs (enoil-piruvil shiquimato-3-fosfato sintase) (KRUSE; TREZZI; VIDAL, 2000). O uso contínuo desse herbicida propiciou o aparecimento de plantas daninhas resistentes ao seu mecanismo de ação (MACHINESKI et al., 2019), devido a pressão de seleção extremamente alta, selecionando biótipos de espécies tolerante ao glifosato (RIZZARDI; SILVA, 2014).

Herbicidas seletivos de ação graminicida, não afetam o desenvolvimento da soja, alguns desses são do grupo químico A, inibidores da ACCase (acetil-CoA carboxilase), a exemplo cletodim. O uso de herbicidas com mecanismos de ação diferentes em conjunto se torna uma ferramenta como estratégia de manejo de resistência em áreas agrícolas como também minimiza a seleção de novos indivíduos com essa capacidade (MACHINESKI et al., 2019; VARGAS; ROMAN, 2006).

A eficácia de controle é alcançada quando se utiliza medidas de manejo que propiciam melhor eficiência de aplicação dos produtos fitossanitários, com a aplicação na época correta, sob condições meteorológicas adequadas (PEREIRA; KERBER; FIORINI, 2019) e utilizando a tecnologia de aplicação que melhor atenda às necessidades de maneira eficiente.

A tecnologia e o produto fitossanitário influenciam diretamente na qualidade da aplicação, logo a escolha adequada do equipamento pulverizador que atendam as condições da lavoura e alvo biológico é fundamental. A utilização dos drones pulverizadores para a aplicação de produtos fitossanitários já está presente na agricultura, porém estudos relacionados com a eficácia de controle das plantas daninhas ainda é incipiente, gerando a necessidade do melhor entendimento dessas operações atrelado as premissas da tecnologia de aplicação, conforme explicitadas por Matuo (1990). Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o controle de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura da soja com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim via drone pulverizador e pulverizador de barras terrestre, bem como o efeito dessas tecnologias de aplicação sobre a produtividade da soja.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Condução do experimento

Dois experimentos foram conduzidos na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) - Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu, na safra agrícola 2021/22, em sistema convencional de produção.

O preparo de solo foi realizado anteriormente a semeadura, com aração, gradagem, correção e adubação. A semeadura foi realizada em 22/11/2021, com a variedade Intacta RR2 PRO® Lagoa Bonita Sementes, com hábito de crescimento indeterminado recomendada para a região de Botucatu, SP, com espaçamento de 0,45 m entre linhas de plantio e densidade de 14 sementes por metro linear. O tratamento de sementes foi realizado no modo on farm, conforme descrito na Tabela 1.

Os tratamentos fitossanitários visando o controle de insetos-praga e doenças foram realizados de acordo com o monitoramento na condução da lavoura. Para aplicação dos inseticidas e fungicidas foi utilizado o pulverizador de barras com assistência de ar equipados com pontas modelo ADI 11002 com taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹. A época de aplicação e produtos fitossanitários utilizados são descritos na Tabela 2.

Tabela 1 - Produto comercial, ingrediente ativo, classe de uso e dose utilizada no tratamento de sementes de soja no modo *on farm*. Safra 2021/22, Botucatu, SP.

Produto comercial	Ingrediente ativo	Classe de uso	Dose
Standak® Top	Piroclostrobrina, tiofato metílico e fipronil	Fungicida e inseticida	2 mL p.c. em 5 mL de água kg de semente ⁻¹
Biomax®	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	Inoculante	1,2 mL kg de semente ⁻¹

Tabela 2 - Alvo biológico, produto comercial, ingrediente ativo, dose e época de aplicação nas áreas experimentais de soja. Safra 2021/22, Botucatu, SP.

Alvo biológico		Produto comercial	Ingrediente ativo	Dose (L ou kg p.c. ha ⁻¹)	Estádio fenológico
Lagarta-da-soja	<i>Anticarsia gemmatilis</i>	Intrepid®	metoxifenoazida	0,2	R2
Lagarta-falsa-medideira	<i>Chrysodeixis includens</i>				
Ferrugem da soja	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Unizeb Gold®	mancozebe	1,5	R2
Percevejo-da-soja	<i>Nezara viridula</i>	Engeo pleno®	tiametoxam/ lambda-cialotrina	0,2	R5
Percevejo-marrom	<i>Euschistus heros</i>				
Lagarta falsa medideira	<i>Chrysodeixis includens</i>	Exalt®	espinetoram	0,75	R5
Ferrugem da soja	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Alade®	benzovindiflupir/ ciproconazol/ difenoconazol	2	R7
Oídio	<i>Microsphaera diffusa</i>				

2.2.2 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos distribuídos no esquema fatorial de 2 x 2 + 2 (1 aplicação de herbicida com drone; 1 aplicação de herbicida com pulverizador de barras; 2

aplicações de herbicida com drone; 2 aplicações de herbicida com pulverizador de barras; e, 2 testemunhas, com e sem capina) com 4 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. A dimensão das parcelas foi de 6 x 40 m (largura x comprimento), sendo considerada a área útil para as avaliações de 3 x 20 m centrais. Os tratamentos são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Técnica e número de aplicação, estágio fenológico e método de controle de plantas daninhas. Safra 2021/22, Botucatu, SP.

Tratamento	Equipamento pulverizador	Número de aplicação	Estádio fenológico	Controle
1	-	-	-	Capina
2	-	-	-	-
3	Terrestre (barras)	1	V4	Químico*
4	Drone	1	V4	Químico
5	Terrestre (barras)	2	V4 e V7	Químico
6	Drone	2	V4 e V7	Químico

*Controle químico através da aplicação de herbicidas

No tratamento testemunha sem capina não foi realizado o controle das plantas daninhas e aquele com capina foi feito o controle manual durante a condução do experimento, não havendo nenhum período de interferência na cultura. A aplicação de herbicidas nos diferentes tratamentos foi realizada no estágio fenológico da cultura da soja V4 (soja com quarto nó) em 22/12/2021 e V7 (soja com sétimo nó) em 12/01/2022, para os tratamentos com duas aplicações (sequencial).

Os herbicidas utilizados foram:

- Glifosato (Roundup OriginalDi®): 445 g de sal de di-amônio de N-(phosphonomethyl) glycine L p.c⁻¹, Concentrado Solúvel (SL);
- Cletodim (Select®): 0,240 kg de (RS)-2- [(E)-1-[(E)-3-chloroallyloxyimino] propyl]-5-[2-(ethylthio) propyl]-3-hydroxycyclohex-2-enone L p.c.⁻¹, Concentrado Emulsionável (EC).

As doses utilizadas foram definidas a partir das espécies de plantas daninhas presentes nas áreas de acordo com a recomendação da bula dos herbicidas: 2 L p.c ha⁻¹ (0,890 kg i.a. ha⁻¹) de Roundup Original® Di e 0,450 L p.c ha⁻¹ (0,108 kg i.a. ha⁻¹) de Select®, para ambos tratamentos e experimentos.

2.2.3 Condições operacionais dos pulverizadores

Para aplicação dos tratamentos utilizou-se o pulverizador de barras terrestre, marca Jacto, modelo Condor, tanque de capacidade de 400 litros equipado com barra úmida com conjuntos de bicos BiJeet e o drone pulverizador, marca Sky Drones, modelo Pelicano 2020, com 6 rotores turbo hélice com 4 pontas de pulverização hidráulica, posicionadas abaixo de 4 rotores e tanque com capacidade de 10 litros.

Para menor número de variáveis optou-se pela utilização da ponta de pulverização hidráulica do modelo TT11002 para ambos equipamentos pulverizadores. A ponta TT11002 possui jato plano com ângulo de 110° e recomendada para aplicações de herbicidas. Outro fator determinante na seleção da ponta foi o funcionamento adequado, para que o drone pulverizador mantivesse a abertura do jato de pulverização. Devido à algumas pontas demandarem maior pressão do sistema para a abertura adequada do jato, como pontas com tecnologia de indução de ar, por exemplo, a faixa de pressão de trabalho do drone pode proporcionar o funcionamento inadequado, por isso realizou-se testes preliminares para a escolha do modelo de ponta mais adequada para a pressão exercida pelo drone, modelo Pelicano 2020.

A taxa de aplicação adotada para o drone pulverizador foi de 15 L ha^{-1} e para o pulverizador de barras terrestre 120 L ha^{-1} . As taxas de aplicação foram estabelecidas em função das condições operacionais de cada equipamento pulverizador e volume atualmente praticados no controle de plantas daninhas nas culturas agrícolas, em especial com o pulverizador de barras terrestre.

Previamente as aplicações foi avaliada a faixa de deposição do drone pulverizador pela metodologia de espectrofotometria de fio, proposta por Carvalho e Cunha (2019). A faixa de deposição utilizada foi de 5 metros, apresentando menor coeficiente de variação em testes prévios. A faixa de deposição do pulverizador convencional foi de 7,0 metros, pois utilizou-se apenas uma seção da barra para a aplicação devido à largura das parcelas experimentais. O fechamento de 50% da barra de pulverização não alterou a vazão nas pontas de pulverização pelo sistema de pulverização estar equipado com comando de débito proporcional do líquido com válvulas independentes para cada seção da barra de pulverização.

As velocidades de aplicação utilizadas foram 8 km h⁻¹ para o pulverizador de barras e 18 km h⁻¹ para o drone com altura de voo de 3 metros. As pressões de trabalho foram de 3,5 bar para pulverizador de barras e 1,5 bar para o drone, estabelecidas pelas condições operacionais.

As condições meteorológicas foram monitoradas com auxílio de termômetro digital (INSTRUTEMP®). A velocidade do vento e temperatura foram mensuradas no momento das aplicações. Sendo a primeira aplicação (V4) com velocidade de vento de 4,5 km h⁻¹ e temperatura de 30°C. Na segunda aplicação (V7) a velocidade de vento foi de 2,9 km h⁻¹ e temperatura de 28,5°C.

2.2.4 Levantamento fitossociológico

O levantamento fitossociológico foi realizado antes da primeira aplicação. O método adotado para a avaliação foi do quadrado inventário, realizado com armações de ferro com dimensões de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), lançado aleatoriamente duas vezes em cada parcela e, assim, totalizando 48 amostragens em cada área experimental, conforme ilustrado na Figura 1. Todas as plantas daninhas presentes dentro do quadrado foram quantificadas e identificadas, utilizando literatura especializada (LORENZI, 2014).

Figura 1 - Coleta de plantas daninhas para levantamento fitossociológico pelo método do quadrado inventário. Safra 2021/22. Botucatu, SP.



Fonte: Maria Elena Silva Montanhan - 2021

Com os dados obtidos no levantamento realizou-se a análise de parâmetros fitossociológicos de frequência, frequência relativa, densidade, densidade relativa, abundância, abundância relativa, índice de valor de importância e importância relativa para as espécies, de acordo com Mueller-Dombois e Elleberg (1974), conforme equações apresentadas a seguir (E1, E2, E3, E4, E5, E6 E7 e E8):

$$F = \frac{Nq}{Qa} \quad (E1)$$

Em que:

F= frequência da espécie; **Nq**= número de quadros que contêm a espécie; **Qa**= número total de quadros amostrados;

$$Fr = \frac{F \times 100}{Ft} \quad (E2)$$

Em que:

Fr= frequência relativa; **F**= frequência da espécie; **Ft**= frequência total de todas as espécies;

$$D = \frac{Nt}{At} \quad (E3)$$

Em que:

D= Densidade das espécies; **Nt**= número total de indivíduos por espécie; **At**= área total amostrada;

$$Dr = \frac{D \times 100}{Dt} \quad (E4)$$

Em que:

Dr= densidade relativa; **D**= densidade das espécies; **Dt**= densidade total de todas espécies;

$$A = \frac{Nq}{Qe} \quad (E5)$$

Em que:

A= abundância das espécies; **Nq**= número de quadros que contêm a espécie; **Qe**= número total de quadros que contêm a espécie;

$$Ar = \frac{A \times 100}{At} \quad (E6)$$

Em que:

Ar= Abundância relativa; **A**= abundância das espécies; **At**= abundância total de todas as espécies;

$$IVI = Fr + Dr + Ar \quad (E7)$$

Em que:

IVI= índice de valor importância da espécie; **Fr**= frequência relativa; **Dr**= Densidade relativa; **Ar**= Abundância relativa.

$$IR = \frac{IVIt}{IVIt} \times 100 \quad (E8)$$

IR= importância relativa da espécie; **IVIt**= índice de valor de importância da espécie; **IVIt**= índice de valor de importância de todas as espécies.

2.2.5 Avaliação de controle de plantas daninhas

Para a avaliação foram consideradas três espécies que estavam presentes em todas as unidades experimentais: apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*).

A avaliação de controle das espécies foi realizada visualmente em cada parcela experimental com atribuição de notas em porcentagem de acordo com a escala de notas proposta pela SBCPD (1995), como descrita na Tabela 4. As avaliações foram aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DA1A (dias após primeira aplicação). A avaliação de fitointoxicação da cultura da soja não foi realizada, pois foram utilizados herbicidas recomendados e seletivos a cultura, não havendo injúrias observadas para serem avaliadas.

Tabela 4 - Porcentagem de controle de plantas daninhas para a avaliação da eficácia de controle.

Controle (%)	Descrição
90-100	Excelente ou total
80-89	Bom, aceitável para infestação da área
70-79	Moderado, insuficiente para a infestação da área
50-69	Deficiente ou inexpressivo
0-49	Ausência de controle

Fonte: SBCPD (1995).

2.2.6 Avaliação de produtividade

A colheita foi realizada em 31/03/2022, de forma manual em 6,0 m lineares de cada parcela (2,70 m²), assim como a contagem do estande de plantas (número de plantas por metro). Posteriormente as amostras foram levadas para o Laboratório e trilhadas obtendo os grãos para a avaliação da produtividade e peso de mil grãos de cada tratamento dos dois experimentos.

A avaliação foi realizada por meio da pesagem de cada parcela em balança de precisão (Figura 2 A). A umidade das amostras foi aferida pelo aparelho Gehaka® AGRI modelo G929 (Figura 2 B) e, posteriormente, ajustada a pesagem para a umidade de 13% de acordo com a equação 9 (E9) (BRASIL, 2009). Com os dados do peso corrigido calculou-se a produtividade final em quilos por hectare. A partir das amostras de cada unidade experimental foi realizada a contagem de 1.000 grãos, os quais foram separados e também pesados com o ajuste do peso para 13% de umidade (E9).

$$PC = \frac{Pb \times (100 - Ur)}{100 - 13} \quad (E9)$$

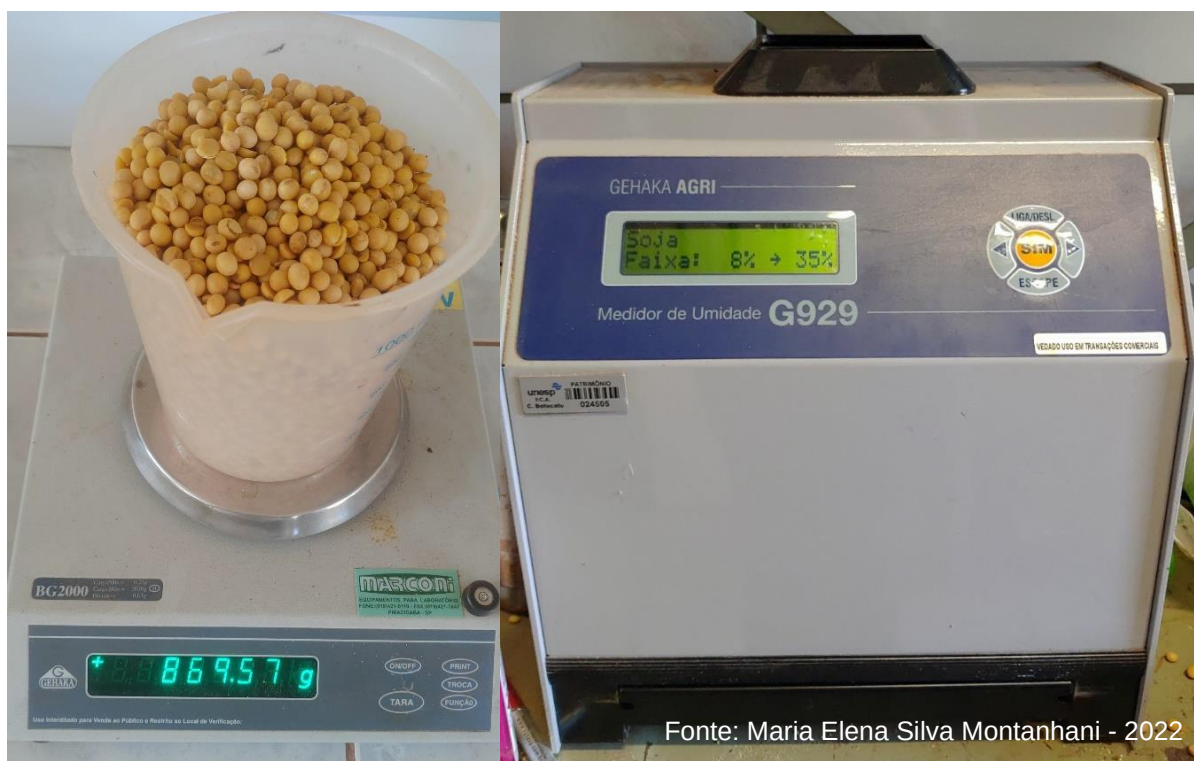
Em que:

PC= peso corrigido da amostra na umidade de 13%;

Pb= peso bruto da amostra;

Ur= umidade da amostra no momento da pesagem.

Figura 2 - Pesagem das amostras de soja em balança de precisão (A); aferição da umidade dos grãos no aparelho Gehaka® AGRI modelo G929 (B).



Fonte: Maria Elena Silva Montanhani - 2022

2.2.7 Análise dos dados

Os resultados obtidos nas avaliações dos dois experimentos foram organizados e analisados. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados separadamente para cada experimento, denominados “Experimento 1” e “Experimento 2”.

2.3.1 Experimento 1

A partir dos resultados obtidos no levantamento fitossociológico pode-se perceber a variabilidade de espécies infestantes na área experimental 1. Após a identificação as espécies foram classificadas em 8 famílias diferentes, sendo 3 monocotiledôneas e 12 eudicotiledôneas, descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Nome científico, nome comum, família e classe das espécies presentes na área do experimento 1. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Nome científico	Nome comum	Família	Classe
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	apaga-fogo	Amaranthaceae	eudicotiledônea
<i>Amaranthus deflexus</i> L.	caruru	Amaranthaceae	eudicotiledônea
<i>Bidens pilosa</i> L.	picão-preto	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	capim-carrapicho	Poaceae	eudicotiledônea
<i>Commelina benghalensis</i> L.	trapoeraba	Commelinaceae	monocotiledônea
<i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde	capim-amargoso	Poaceae	monocotiledônea
<i>Emilia fosbergii</i> NICOLSON	falsa-serralha	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	amendoim-bravo	Euphorbiaceae	eudicotiledônea
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	picão branco	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	fazendeiro	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	corda-de-viola	Convolvulaceae	eudicotiledônea
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	nabiça	Brassicaceae	eudicotiledônea
<i>Sida cordifolia</i> L.	guanxuma	Malvaceae	eudicotiledônea
<i>Sida rhombifolia</i> L.	guanxuma	Malvaceae	eudicotiledônea
<i>Zea mays</i> L.	milho (tiguera)	Poaceae	monocotiledônea

Os índices fitossociológicos calculados das espécies estão apresentados na Tabela 6. As três espécies que apresentaram maior número de unidades foram apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*), fazendeiro (*Galinsoga quadriradiata*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) com 2.184, 137, 129 e 441 plantas, respectivamente. Porém os índices de Frequência da espécie *Galinsoga quadriradiata* foi baixo em relação as demais espécies. A frequência da espécie representa a relação do número de quadrados que a espécie está presente com o número total de quadrados amostrados, logo essa espécie não estava presente na maioria dos quadros amostrados, não sendo representativa para ser avaliada no experimento.

Sendo assim, para a avaliação de controle das plantas daninhas foram consideradas três espécies com maior frequência (Tabela 6), conforme segue: 0,900 *Alternanthera tenella*, 0,675 *Cenchrus echinatus* e 0,925 *Raphanus raphanistrum*. Culminando na avaliação de controle em todas as unidades experimentais, mais representativa, sendo avaliado o controle das três espécies individualmente.

Tabela 6 - Índices fitossociológicos das espécies presentes na área experimental 1. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Espécies	NI	NQ	F	FR (%)	D (pl m ²)	DR (%)	A	AR (%)	IVI	IR (%)
<i>Alternanthera tenella</i>	2184	36	0,90	23,08	218,40	71,16	60,67	37,01	131,25	43,75
<i>Amaranthus deflexus</i>	43	5	0,12	3,20	4,30	1,40	8,60	5,25	9,85	3,28
<i>Bidens pilosa</i>	17	8	0,20	5,13	1,70	0,55	2,12	1,30	6,98	2,33
<i>Cenchrus echinatus</i>	137	27	0,67	17,31	13,70	4,46	5,07	3,09	24,87	8,29
<i>Commelina benghalensis</i>	31	7	0,17	4,49	3,10	1,01	4,43	2,70	8,20	2,73
<i>Emilia fosbergi</i>	1	1	0,02	0,64	0,10	0,03	1,00	0,61	1,28	0,43
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1	1	0,02	0,64	0,10	0,03	1,00	0,61	1,28	0,43
<i>Digitaria insularis</i>	18	3	0,07	1,92	1,80	0,58	6,00	3,66	6,17	2,06
<i>Galinsoga parviflora</i>	1	1	0,02	0,64	0,10	0,03	1,00	0,61	1,28	0,43
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	129	17	0,42	10,9	12,90	4,20	7,59	4,63	19,73	6,58
<i>Ipomoea purpurea</i>	9	6	0,15	3,85	0,90	0,29	1,50	0,91	5,05	1,68
<i>Raphanus naphanistrum</i>	441	37	0,92	23,72	44,10	14,37	11,92	7,27	45,36	15,12
<i>Sida cordifolia</i>	5	5	0,12	3,20	0,50	0,16	1,00	0,61	3,98	1,33
<i>Sida rhombifolia</i>	50	1	0,02	0,64	5,00	1,63	50,00	30,51	32,77	10,93
<i>Zea mays</i>	2	1	0,02	0,64	0,20	0,06	2,00	1,22	1,93	0,64
Total	3069	156	3,90	100	306,90	100	163,90	100	300	100

NI= Número de indivíduos; NQ= Número de indivíduos por quadrado; F= frequência; FR= Frequência relativa; D= Densidade; DR= Densidade relativa; A= Abundância; AR= Abundância relativa; IVI= Índice de valor de importância; IR= Importância relativa.

O controle da espécie *Alternanthera tenella* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a primeira aplicação (DA1A) estão apresentados na Tabela 7. Aos 7 DA1A, o controle diferiu significativamente para os pulverizadores, sendo de 91% de controle com o pulverizador de barras e de 80,5% com o drone. Aos 14 DA1A, o número de plantas daninhas no tratamento com duas aplicações com drone foi significativamente menor quando comparado à uma aplicação com drone e duas aplicações com o pulverizador de barras, porém a segunda aplicação não havia sido realizada, logo essa variável não teve interferência no controle. Aos 21 DA1A, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Aos 28, 35 e 42 DA1A o controle de *Alternanthera tenella* não evidenciou diferença significativa para os equipamentos de pulverização, porém com duas aplicações de herbicidas foi significativamente melhor o controle que apenas uma aplicação, com valores de 93%, 97% e 98%, respectivamente, controle considerado “excelente”. Evidenciando que, independentemente do pulverizador, duas aplicações são indispensáveis no controle dessa espécie nas condições experimentais.

O controle de *Cenchrus echinatus*, aos 7, 14 e 21 DA1A não evidenciou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 8). Aos 28 DA1A, a aplicação sequencial promoveu controle significativamente maior que uma aplicação, porém sem diferença entre a aplicação com drone e o pulverizador de barras. Aos 35 e 42 DA1A houve diferença significativa para os tratamentos com uma aplicação. O controle com o drone foi 71,25% e 70,5% e de 60% e 58,75% com o pulverizador de barras, respectivamente. O controle das plantas daninhas com os equipamentos de pulverização não mostrou diferença significativa nas aplicações sequenciais, porém apresentou diferença significativa quando comparadas com somente uma aplicação, apresentando controle de 96,5% e 97,5% com drone aos 35 e 42 DA1A e 98% com pulverizador de barras em ambas avaliações.

Não houve diferença significativa no controle da espécie *Raphanus raphanistrum* para os tratamentos aos 7, 14 e 21 DA1A (Tabela 9). Aos 28 DA1A houve diferença significativa para os pulverizadores com uma aplicação de herbicida. O drone pulverizador proporcionou maior porcentagem de controle (76,25%) comparado ao pulverizador de barras (63,25%), porém os tratamentos com aplicação sequencial não demonstraram diferença significativa para os diferentes pulverizadores. O mesmo foi constatado para as avaliações aos 35 DA1A, com uma aplicação, drone com controle de 87,5% e pulverizador de barras de 63,75%. Já aos 42 DA1A, o drone demonstrou 86% de controle e o pulverizador de barras 62,5%.

A aplicação sequencial proporcionou porcentagens de controle da espécie *Raphanus raphanistrum* significativamente maiores nas três últimas avaliações quando comparadas com uma única aplicação. O drone apresentou 88,25%, 97,25% e 97,50% e o pulverizador de barras 92,75%, 98% e 98% nos tratamentos com aplicação sequencial, referente aos 28, 35 e 42 DA1A.

Os controles das três espécies foram satisfatórios para ambas as tecnologias com aplicação sequencial. Quando analisado a eficácia da aplicação de herbicida o drone pulverizador pode ser considerado tecnologia promissora para uso nas lavouras de soja, em área total e localizada. Em estudo realizado por Martin et al. (2020) comparando a pulverização de herbicida com drone e pulverizador terrestre costal pressurizado a CO₂ sugeriu a aplicação em pós-emergência de plantas daninhas ser

aplicada por drone. Zhang et al. (2020) também obtiveram controle satisfatório de plantas daninhas com a aplicação de herbicidas com drone na cultura do trigo.

Tabela 7 - Controle de *Alternanthera tenella* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

7 DA1A			
Pulverizador	Drone	Pulverizador de barras	
Controle (%)	80,50b	91,00a	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	23,68*		
Número de aplicação (N)	0,12 ^{ns}		
P x N	0,66 ^{ns}		
CV (%)	5,03		
14 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	Teste F
Uma aplicação	94,50a	91,25	1,20 ^{ns}
Duas aplicações	85,00Bb	96,50a	15,06*
Teste F	10,28*	3,14 ^{ns}	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	3,88 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	1,03 ^{ns}		
P x N	12,39*		
CV (%)	4,56		
21 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	
Uma aplicação	94,50	91,25	
Duas aplicações	85,00	96,50	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	1,33 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	0,33 ^{ns}		
P x N	0,01 ^{ns}		
CV (%)	6,69		
28 DA1A			
Número de aplicação	Controle (%)		
Uma aplicação	80,25B		
Duas aplicações	93,62a		
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	0,25 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	17,05*		
P x N	0,12 ^{ns}		
CV (%)	7,45		
35 DA1A			
Número de aplicação	Controle (%)		

Uma aplicação	71,25B
Duas aplicações	97,87A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	0,7 ^{ns}
Número de aplicação (N)	87,64*
P x N	0,85 ^{ns}
CV (%)	6,73

42 DA1A

Número de aplicação	Controle (%)
Uma aplicação	69,25B
Duas aplicações	98,00A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	1,65 ^{ns}
Número de aplicação (N)	75,28 *
P x N	1,65 ^{ns}
CV (%)	7,92

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

Tabela 8 - Controle de *Cenchrus echinatus* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

7 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	68,75	63,75
Duas aplicações	68,50	69,75
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	0,09 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	0,22 ^{ns}	
P x N	0,26 ^{ns}	
CV (%)	18,27	

14 DA1A

	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	87,50	75,00	2,74 ^{ns}
Duas aplicações	73,75	87,50	3,32 ^{ns}
F	3,32 ^{ns}	2,74 ^{ns}	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	0,01 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	0,01 ^{ns}		
P x N	6,04*		
CV (%)	13,19		

21 DA1A

	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	75,50	66,50
Duas aplicações	57,50	81,75

Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	0,54 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	0,02 ^{ns}		
P x N	2,59 ^{ns}		
CV (%)	29,41		
28 DA1A			
Número de aplicação	Controle (%)		
Uma aplicação	74,75B		
Duas aplicações	92,75A		
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	0,04 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	21,95*		
P x N	0,11 ^{ns}		
CV (%)	9,17		
35 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	71,25aB	60,00bB	9,27*
Duas aplicações	96,50A	98,00A	0,16 ^{ns}
F	46,69*	105,74*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	3,48 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	146,47*		
P x N	5,95*		
CV (%)	6,42		
42 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	70,50aB	58,75bB	13,32*
Duas aplicações	97,50A	98,00A	0,02 ^{ns}
F	70,34*	148,64*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	6,11*		
Número de aplicação (N)	211,73*		
P x N	7,24*		
CV (%)	5,6		

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

Tabela 9 - Controle de *Raphanus raphanistrum* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

7 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	71,50	74,00
Duas aplicações	74,50	76,25
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	0,16 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	0,25 ^{ns}	
P x N	0,01 ^{ns}	
CV (%)	14,14	

14 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	80,00	71,25
Duas aplicações	72,50	72,50
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	0,70 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	0,36 ^{ns}	
P x N	0,70 ^{ns}	
CV (%)	14,15	

21 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	82,75	62,50
Duas aplicações	64,50	68,75
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	1,04 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	0,59 ^{ns}	
P x N	2,44 ^{ns}	
CV (%)	22,51	

28 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	76,25aB	63,25bB	5,77*
Duas aplicações	88,25A	92,75A	0,69 ^{ns}
F	4,92*	29,71*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	1,23 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	29,4*		
P x N	5,23*		
CV (%)	9,55		

35 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	87,50aB	63,75bB	33,8*

Duas aplicações	97,25A	98,00A	0,03 ^{ns}
F	5,70*	70,30*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	15,85*		
Número de aplicação (N)	58,01*		
P x N	17,99*		
CV (%)	6,67		
42 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	86,00aB	62,50bB	45,70*
Duas aplicações	97,50A	98,00A	0,02 ^{ns}
F	10,94*	104,3*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	21,89*		
Número de aplicação (N)	91,41*		
P x N	23,83*		
CV (%)	5,72		

^{NS}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

A porcentagem de controle de *Alternanthera tenella* nos respectivos tratamentos e avaliações é ilustrada na Figura 3. Os tratamentos com uma aplicação demonstraram crescimento de controle ao longo das três primeiras aplicações, porém nas três últimas avaliações houve decréscimo de controle pela ausência da segunda aplicação.

Quando foi realizada a aplicação sequencial de herbicidas para ambos os pulverizadores o controle foi crescente ao longo das avaliações, pois a segunda aplicação reforçou o controle das plantas daninhas escape, rebrota ou germinação de novas sementes. Após a segunda aplicação as avaliações de 28, 35 e 42 DA1A evidenciaram a eficácia nos tratamentos com aplicação sequencial para os dois pulverizadores, atingindo valores acima de 95%, considerados controle excelente.

A eficácia de controle da espécie *Cenchrus echinatus*, também foi evidenciada para duas aplicações, independente do equipamento pulverizador, aos 28, 35 e 42 DA1A, obtendo valores maiores que 90% e próximos a 100%, considerados controle “excelente”. As avaliações de controle com somente uma aplicação de herbicida demonstraram valores numericamente maiores para a aplicação com drone (maiores

que 60%) quando comparados aos obtidos com o pulverizador de barras, chegando a valores considerados ineficientes (menores que 60%) nas últimas avaliações.

Fato similar foi constatado no controle de *Raphanus raphanistrum* (Figura 5). Nas aplicações únicas de herbicida o drone apresentou controle numericamente maior (80%) que o pulverizador de barras, o qual demonstrou controle menor que 65% nas últimas avaliações. Para a aplicação sequencial o controle foi crescente nas avaliações e aos 42 DA1A atingiu mais de 95% para ambos equipamentos pulverizadores, considerado como controle excelente para a infestação da área.

Figura 3 - Controle de *Alternanthera tenella* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra 2021/2022. Botucatu, SP.

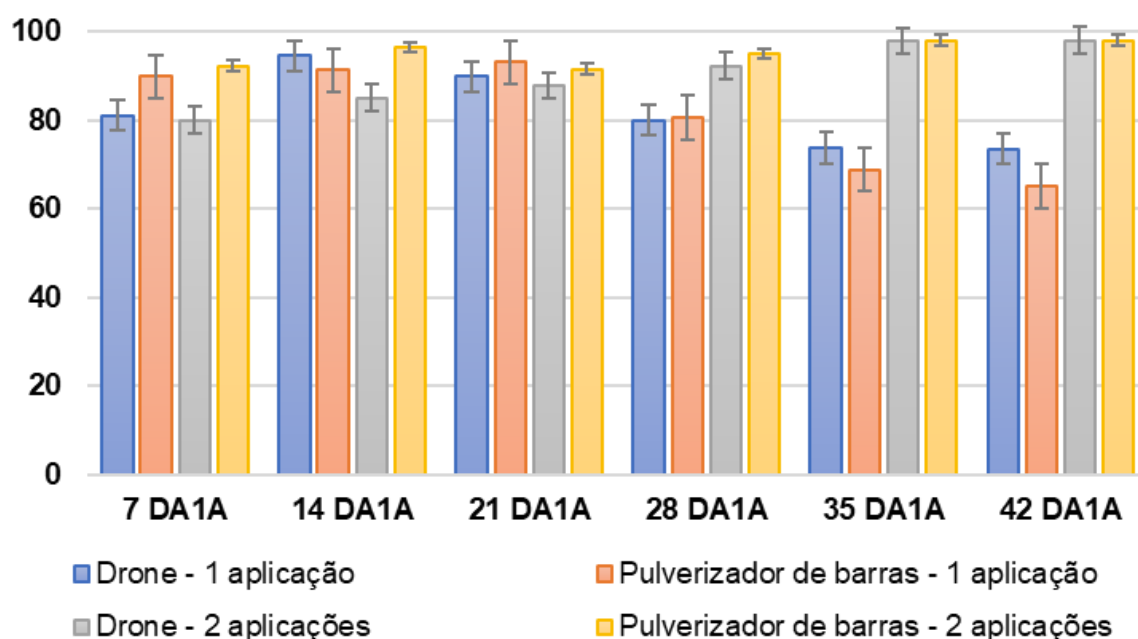


Figura 4 - Controle de *Cenchrus echinatus* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra 2021/2022. Botucatu, SP.

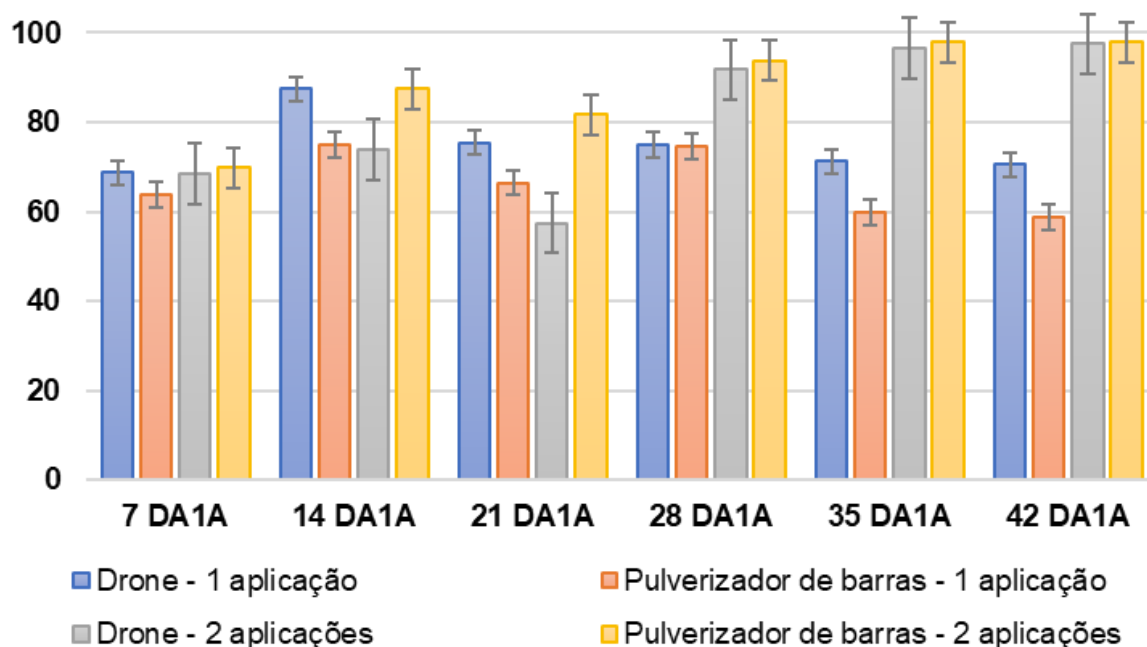
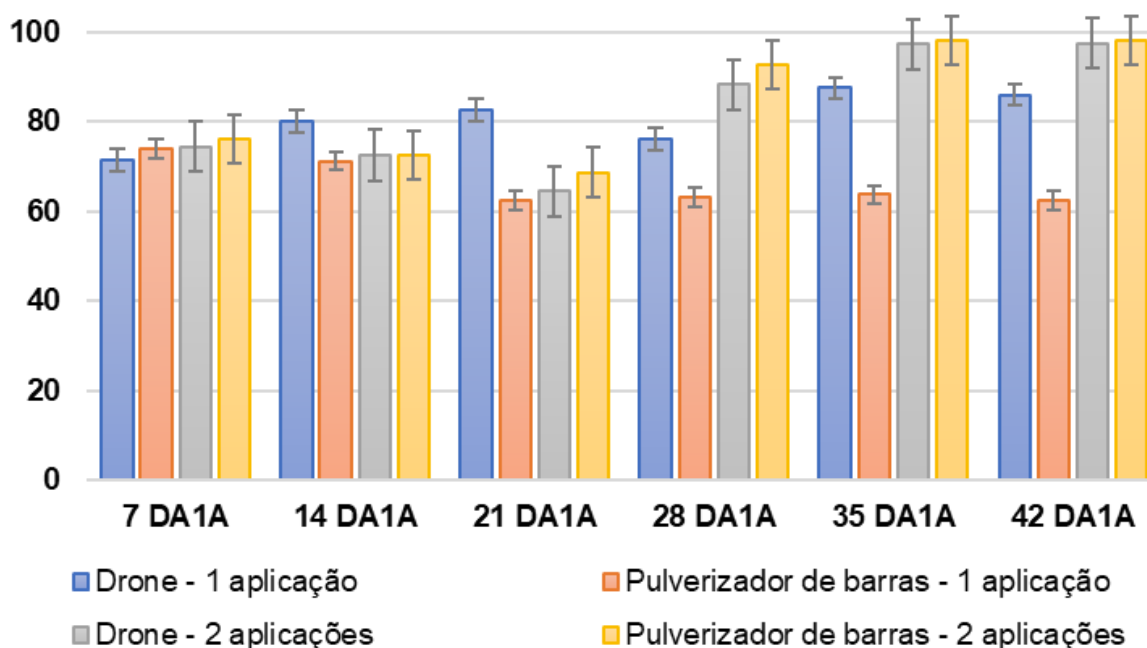


Figura 5 - Controle de *Raphanus raphanistrum* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 1. Safra 2021/2022. Botucatu, SP.



O estande (Tabela 10), peso de mil grãos (Tabela 11) e a produtividade da soja (Tabela 12) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos testemunhas e entre a testemunha sem capina e os tratamentos herbicidas. O estande no tratamento testemunha sem capina foi menor (9 plantas m^{-1}), quando comparado à testemunha com capina (13 plantas m^{-1}) e aos demais tratamentos, que não apresentaram diferença entre si, com estande médio de 13 plantas m^{-1} . Esses resultados enfatizam a importância e necessidade de controle das plantas daninhas, as quais afetam negativamente a produção da soja, com a redução de estande proporcionado pela morte das plantas de soja devido a competição alta com as plantas daninhas quando não manejadas em nenhum estágio de desenvolvimento da cultura.

A importância do manejo das plantas daninhas adequadamente é destacada também na avaliação de peso de mil grãos (Tabela 11). A testemunha sem capina apresentou peso de mil grãos significativamente menor (163,69 g) em relação à testemunha com capina (176,11 g), porém quando comparados com os tratamentos herbicidas não houve diferença. Fica evidente que além da diminuição da produção pela redução de estande da soja a qualidade dos grãos também é afetada quando o manejo das plantas daninhas não é realizado.

A produtividade da soja nos respectivos tratamentos está apresentada na Tabela 12. A produtividade no tratamento testemunha com capina foi 5.085,23 kg ha^{-1} , significativamente maior comparado com a testemunha sem capina (2.550,96 kg ha^{-1}). Os tratamentos herbicidas demonstram diferença significativa da testemunha sem capina e não houve diferença da testemunha com capina. A produtividade média para os tratamentos com aplicação de herbicida com drone pulverizador foi de 4.956,69 kg ha^{-1} e com pulverizador de barras 5.531,05 kg ha^{-1} .

A redução na produção da soja no tratamento sem capina evidencia a interferência das plantas daninhas na produtividade da cultura, devido a competição por recursos do ambiente essenciais para o desenvolvimento, como espaço, água, luz e nutrientes (PITELLI, 1985). Além de danos causados na redução da produção, a competição pode acarretar na morte das plantas de soja, constatado na avaliação de estande das parcelas experimentais sem capina, que apresentou valores menores aos demais tratamentos com algum método de controle empregado.

Tabela 10 - Estande médio da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 1. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	13,0a	
Testemunha sem capina (TS)	9,0b	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	12,87a	14,17a
Duas aplicações	13,58a	12,83a
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	0,73	0,4026 ^{ns}
Número de aplicação (N)	0,18	0,6733 ^{ns}
P x N	2,94	0,1036 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	22,10	0,0002*
TC x TS	23,51	0,0001*
CV (%)	9,27	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 11 - Peso médio de mil grãos - PMG (g) da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 1. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	176,11a	
Testemunha sem capina (TS)	163,69b	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	163,05ab	163,12ab
Duas aplicações	157,40b	167,59ab
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	1,78	0,1991 ^{ns}
Número de aplicação (N)	0,02	0,8791 ^{ns}
P x N	1,73	0,2054 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	4,55	0,0469*
TC x TS	5,21	0,0348*
CV (%)	4,66	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 12 - Produtividade (kg ha⁻¹) média da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 1. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	5.085,23a	
Testemunha sem capina (TS)	2.550,96b	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	5.129,63a	5.296,85a
Duas aplicações	4.783,76a	5.765,26a
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	6,42	0,0208*
Número de aplicação (N)	0,07	0,7900 ^{ns}
P x N	3,23	0,0892 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	52,77	<0,0001*
TC x TS	62,52	<0,0001*
CV (%)	9,5	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

2.3.2 Experimento 2

A área experimental 2 demonstrou variabilidade de espécies infestantes, foram 12 espécies no total de 9 famílias diferentes, sendo 2 monocotiledôneas e 10 eudicotiledôneas, conforme descritas na Tabela 13.

Tabela 13 - Nome científico, nome comum e família das espécies presentes na área do experimento 2. Safra 2021/2022. Botucatu, SP.

Nome científico	Nome comum	Família	Classe
<i>Alternanthera tenella</i> Colla	apaga-fogo	Amaranthaceae	eudicotiledônea
<i>Amaranthus deflexus</i> L.	caruru	Amaranthaceae	eudicotiledônea
<i>Bidens pilosa</i> L.	picão-preto	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Bidens subalternans</i> DC.	picão-preto	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	capim-carrapicho	Poaceae	monocotiledônea
<i>Commelina benghalensis</i> L.	trapoeraba	Commelinaceae	monocotiledônea
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	amendoim-bravo	Euphorbiaceae	eudicotiledônea
<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	fazendeiro	Asteraceae	eudicotiledônea
<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	corda-de-viola	Convolvulaceae	eudicotiledônea
<i>Portulaca oleraceae</i> L.	beldroega	Portulacaceae	eudicotiledônea
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	nabiça	Brassicaceae	eudicotiledônea
<i>Sida cordifolia</i> L.	guanxuma	Malvaceae	eudicotiledônea

Os índices fitossociológicos das espécies de plantas daninhas na área experimental 2 estão descritos na Tabela 14. O experimento 2, assim como no experimento 1, evidenciou maior número de unidades e frequência para as espécies: apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*), as quais foram utilizadas nas avaliações de controle por serem consideradas espécies representativas na área experimental.

O número de unidades de *Alternanthera tenella* foi 2.849, frequência de 0,975, densidade de 284,9 plantas m⁻², abundância de 73,05, índice de valor de importância de 161,72 e importância relativa de 53,91%. *Cenchrus echinatus* apresentou 463 unidades no levantamento, frequência de 0,925, densidade de 46,3 plantas m⁻², abundância de 12,51, índice de valor de importância de 45,29 e importância relativa de 15,10%. A espécie *Raphanus raphanistrum* apresentou 215 unidades, 0775 de frequência, densidade de 21,5 plantas m⁻², abundância de 6,93, IVI de 30,3 e IR de 10,10%.

Tabela 14 - Índices fitossociológicos das espécies presentes na área experimental 2. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

Espécies	NI	NQ	F	FR (%)	D (pl m ⁻²)	DR (%)	A	AR (%)	IVI	IR (%)
<i>Alternanthera tenella</i>	2849	39	0,97	23,49	284,90	77,02	73,05	61,20	161,72	53,91
<i>Amaranthus deflexus</i>	14	5	0,12	3,01	1,40	0,38	2,80	2,35	5,74	1,91
<i>Bidens pilosa</i>	39	7	0,17	4,22	3,90	1,05	5,57	4,67	9,94	3,31
<i>Bidens subalternans</i>	17	4	0,10	2,41	1,70	0,46	4,25	3,56	6,43	2,14
<i>Cenchrus echinatus</i>	463	37	0,92	22,29	46,30	12,52	12,51	10,48	45,29	15,10
<i>Commelina benghalensis</i>	30	13	0,32	7,83	3,00	0,81	2,31	1,93	10,58	3,53
<i>Euphorbia heterophylla</i>	4	3	0,07	1,81	0,40	0,11	1,33	1,12	3,03	1,01
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	26	6	0,15	3,61	2,60	0,70	4,33	3,63	7,95	2,65
<i>Ipomoea purpurea</i>	18	7	0,17	4,22	1,80	0,49	2,57	2,15	6,86	2,29
<i>Portulaca oleraceae</i>	2	1	0,02	0,60	0,20	0,05	2,00	1,68	2,33	0,78
<i>Raphanus raphanistrum</i>	215	31	0,77	18,67	21,50	5,81	6,93	5,81	30,3	10,10
<i>Sida cordifolia</i>	22	13	0,32	7,83	2,20	0,59	1,69	1,42	9,84	3,28
Total	3699	166	4,15	100	369,9	100	119,36	100	300	100

NI= Número de indivíduos; NQ= Número de indivíduos por quadrado; F= frequência; FR= Frequência relativa; D= Densidade; DR= Densidade relativa; A= Abundância; AR= Abundância relativa; IVI= Índice de valor de importância; IR= Importância relativa.

Aos 7 DA1A, o controle de *Alternanthera tenella* diferiu significativamente entre os pulverizadores, o pulverizador de barras proporcionou controle de 90,5% e drone de 77% (Tabela 15). Aos 14 e 21 DA1A não houve diferença significativa entre as

tecnologias de pulverização. Aos 28 DA1A, diferença significativa foi constatada para o número de aplicações. As aplicações sequenciais para ambos pulverizadores apresentaram níveis de controle maiores que os tratamentos com única aplicação, controle considerado excelente. Aos 35 e 42 DA1A as porcentagens de controle foram de 97,25% para aplicação sequencial de herbicida.

As porcentagens de controle de *Cenchrus echinatus* são descritas na Tabela 16. Nas avaliações de 7 e 14 DA1A o pulverizador de barras apresentou controle significativamente maior que o drone. Porém, na avaliação de 21 DA1A não houve diferença para os dois fatores. Já nas avaliações de 28, 35 e 42 DA1A não houve diferença no controle do capim-carrapicho para os pulverizadores, com diferença significativa para o número de aplicação. A aplicação sequencial apresentou níveis de controle considerados excelentes 94,37%, 95,25% e 96,5%, respectivamente.

Em relação ao controle de *Raphanus raphanistrum*, não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos aos 7 e 14 DA1A (Tabela 17). Aos 21 DA1A, não houve diferença no controle com as diferentes técnicas de pulverização. Aos 28, 35 e 42 DA1A o controle com aplicação sequencial foi maior comparado aos tratamentos com uma única aplicação. O drone pulverizador apresentou controle de 86,5%, considerado “bom”, significativamente maior quando comparado ao obtido com o pulverizador de barras (79,5%), aos 42 DA1A, classificado como “moderado”.

Os herbicidas aplicados, glifosato e cletodim, com modo de ação sistêmico, pode ser um fator de destaque para a eficácia semelhante em ambos os pulverizadores mesmo com diferença da taxa de aplicação de 8 vezes. Porém, o desempenho dos herbicidas não foi afetado, o que pode ser justificado pelo modo de ação sistêmico. Mesmo com a diminuição da deposição, a eficácia não foi afetada, pois a dose que atingiu o alvo (plantas daninhas) foi suficiente e correspondeu àquela requerida para ser eficaz. Cavenaghi; Carbonari (2019) pontuam que a variação da taxa de aplicação para determinado herbicida pode apresentar efeitos diferentes quando comparados a outros, o mesmo ocorre para o controle de espécies de plantas daninhas, com possível variação na eficácia.

Tabela 15 - Controle de *Alternanthera tenella* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

7 DA1A			
Pulverizador	Drone	Pulverizador de barras	
% Controle	77,00b	90,50a	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	14,68*		
Número de aplicação (N)	0,18 ^{ns}		
P x N	4,53 ^{ns}		
CV (%)	8,41		
14 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	
Uma aplicação	90,00	96,50	
Duas aplicações	92,50	91,25	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	1,63 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	0,45 ^{ns}		
P x N	3,55 ^{ns}		
CV (%)	4,44		
21 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	
Uma aplicação	83,75	89,75	
Duas aplicações	81,25	83,50	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	2,07 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	2,32 ^{ns}		
P x N	0,43 ^{ns}		
CV (%)	6,78		
28 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	77,50bB	89,25aB	128,68*
Duas aplicações	98,00aA	95,00bA	8,39*
F	391,69*	30,82*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	35,68*		
Número de aplicação (N)	321,12*		
P x N	101,39*		
CV (%)	1,63		
35 DA1A			
Número de aplicação	Controle (%)		
Uma aplicação	72,37B		
Duas aplicações	97,25 ^a		
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	0,89 ^{ns}		

Número de aplicação (N)	156,53*
P x N	2,88 ^{ns}
CV (%)	4,69
42 DA1A	
Número de aplicação	Controle (%)
Uma aplicação	70,62B
Duas aplicações	97,25A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	1,34 ^{ns}
Número de aplicação (N)	167,83*
P x N	3,55 ^{ns}
CV (%)	4,9

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

Tabela 16 - Controle de *Cenchrus echinatus* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola 2021/22, Botucatu, SP.

7 DA1A		
Pulverizador	Drone	Pulverizador de barras
% Controle	60,25b	80,25a
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	6,16*	
Número de aplicação (N)	0,06 ^{ns}	
P x N	2,81 ^{ns}	
CV (%)	22,94	
14 DA1A		
Pulverizador	Drone	Pulverizador de barras
% Controle	71,87b	87,50a
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	5,84*	
Número de aplicação (N)	0,08 ^{ns}	
P x N	0,46 ^{ns}	
CV (%)	16,23	
21 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	60,00	77,25
Duas aplicações	71,25	82,00
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	4,67 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	1,52 ^{ns}	
P x N	0,25 ^{ns}	
CV (%)	17,84	
28 DA1A		
Número de aplicação	Controle (%)	

Uma aplicação	75,87B
Duas aplicações	94,37A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	0,24 ^{ns}
Número de aplicação (N)	27,13*
P x N	0,02 ^{ns}
CV (%)	8,34
35 DA1A	
Número de aplicação	Controle (%)
Uma aplicação	70,62B
Duas aplicações	95,25A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	0,89 ^{ns}
Número de aplicação (N)	119,41*
P x N	2,24 ^{ns}
CV (%)	5,43
42 DA1A	
Número de aplicação	Controle (%)
Uma aplicação	69,37B
Duas aplicações	96,50A
Causa da variação	Teste F
Pulverizador (P)	0,10 ^{ns}
Número de aplicação (N)	95,77*
P x N	0,59 ^{ns}
CV (%)	6,68

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

Tabela 17 - Controle de *Raphanus raphanistrum* aos 4, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

7 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	76,25	72,00
Duas aplicações	75,00	72,00
Causa da variação	Teste F	
Pulverizador (P)	0,37 ^{ns}	
Número de aplicação (N)	0,01 ^{ns}	
P x N	0,01 ^{ns}	
CV (%)	16,10	
14 DA1A		
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	81,25	77,00
Duas aplicações	84,00	75,75
Causa da variação	Teste F	

Pulverizador (P)	2,48 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	0,04 ^{ns}		
P x N	0,25 ^{ns}		
CV (%)	9,98		
21 DA1A			
Número de aplicação	Controle (%)		
Uma aplicação	75,50B		
Duas aplicações	87,50A		
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	2,33 ^{ns}		
Número de aplicação (N)	9,30*		
P x N	0,02 ^{ns}		
CV (%)	9,65		
28 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	Medias N
Uma aplicação	82,25	74,50	78,62B
Duas aplicações	98,00	89,25	93,62A
Medias P	90,12a	81,87b	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	54,0*		
Número de aplicação (N)	184,51*		
P x N	0,2 ^{ns}		
CV (%)	2,61		
35 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	F
Uma aplicação	76,25aB	64,50bB	17,04*
Duas aplicações	98,00A	95,25A	0,93 ^{ns}
F	58,37*	116,68*	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	12,97*		
Número de aplicação (N)	170,05*		
P x N	5,0*		
CV (%)	4,82		
42 DA1A			
	Drone	Pulverizador de barras	Medias N
Uma aplicação	75,00	63,75	69,375B
Duas aplicações	98,00	95,25	96,625A
Medias P	86,5a	79,5b	
Causa da variação	Teste F		
Pulverizador (P)	11,12*		
Número de aplicação (N)	168,52*		
P x N	4,1 ^{ns}		
CV (%)	5,06		

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey. Letras minúsculas comparam valores entre Pulverizador (coluna). Letras maiúsculas comparam valores entre número de aplicação (linha).

Com aplicação única de herbicida a aplicação com pulverizador convencional apresentou porcentagens de controle de *Alternanthera tenella* maiores que a aplicação com drone em todas as avaliações (Figura 6).

Os tratamentos com aplicação sequencial de herbicidas, nas três últimas avaliações de controle de *Alternanthera tenella*, o drone pulverizador apresentou controle maior que o pulverizador de barras, porém ambos com controle considerados “excelente”. A aplicação sequencial para ambos pulverizadores aumentou a eficácia de controle da espécie, evidenciando a necessidade de duas aplicações para o nível de infestação da área.

O controle eficaz é de extrema importância no desenvolvimento da cultura da soja, aplicação única de herbicida demonstrou ser suficiente até os 21 DA1A, após esse período houve decréscimo de controle, observando escape de controle e novas plantas daninhas. Já na segunda aplicação, o herbicida conseguiu controlar as espécies remanescentes na área e intensificar o controle, fornecendo condições adequadas de desenvolvimento da soja.

O controle de *Cenchrus echinatus* foi moderado ou deficiente, após a primeira aplicação para todos os tratamentos (Figura 7). Após a segunda aplicação, os resultados obtidos aos 28, 35 e 42 DA1A evidenciaram a necessidade de duas aplicações de herbicidas no controle da espécie para ambos pulverizadores. Nas últimas avaliações (35 e 42 DA1A), o drone proporcionou controle maior que o pulverizador de barras, ambos apresentando níveis de controle maior que 95%.

O controle de *Raphanus raphanistrum* está apresentado na Figura 8. O drone pulverizador apresentou controle maior comparado ao pulverizador terrestre de barras nos tratamentos com uma e duas aplicações. Para a espécie também foi constatado a necessidade de aplicação sequencial para atingir níveis de controle aceitáveis pelo nível de infestação da área. Aos 35 e 42 DA1A, o controle da espécie foi considerado “excelente” com aplicação sequencial, para ambos os pulverizadores.

Figura 6 - Controle de *Alternanthera tenella* aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

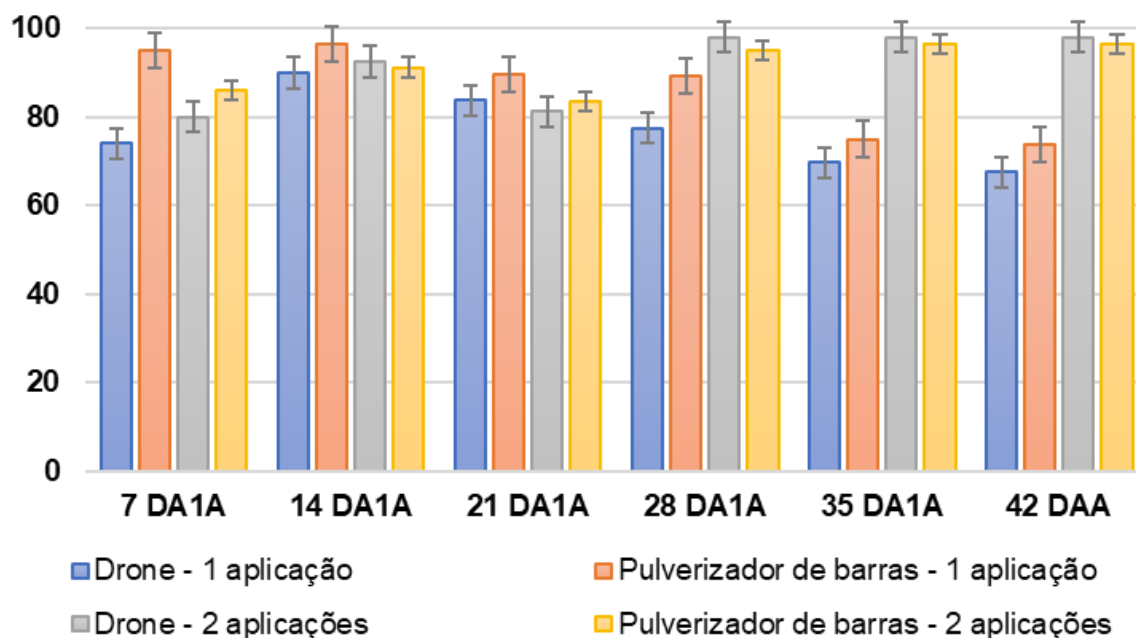


Figura 7 - Controle de *Cenchrus echinatus* aos 4, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola 2021/2022. Botucatu, SP.

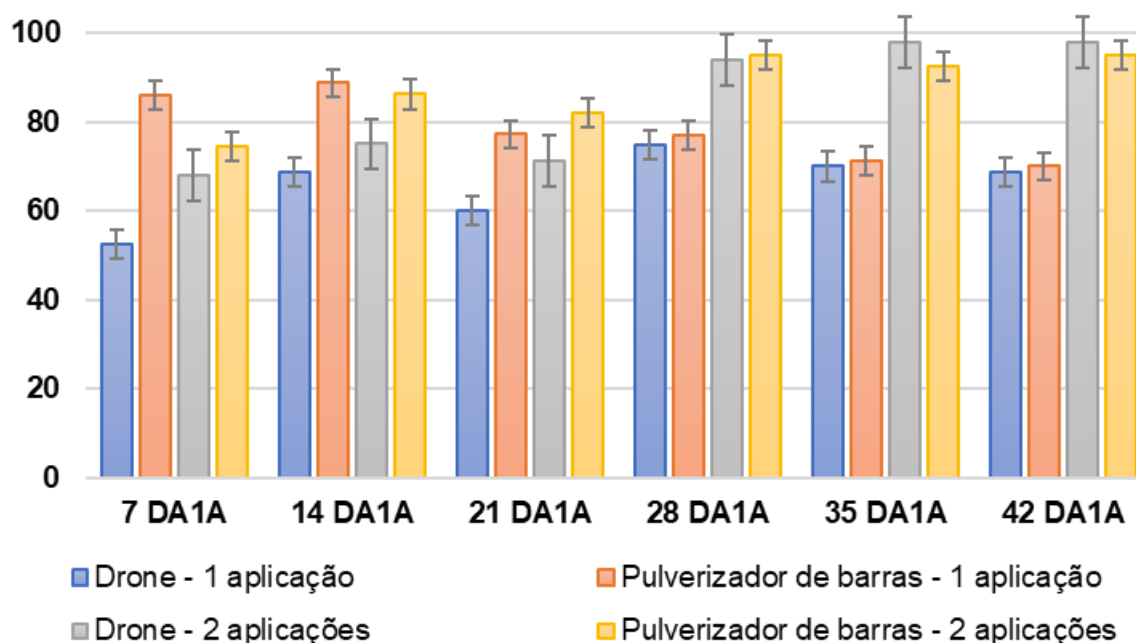
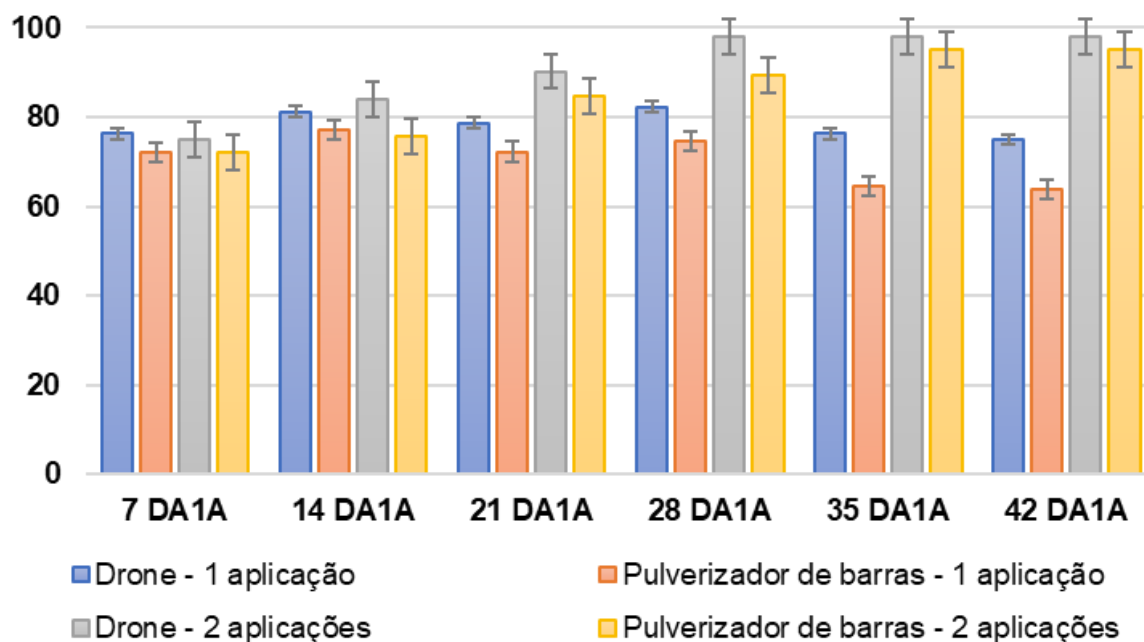


Figura 8 - Controle de *Raphanus raphanistrum* aos 4, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após primeira aplicação (DA1A) dos herbicidas glifosato e cletodim na soja nos diferentes tratamentos, experimento 2. Safra agrícola, 2021/2022. Botucatu, SP.



O estande médio dos diferentes tratamentos e testemunhas pode ser visualizado na Tabela 18. A testemunha com capina obteve estande de 12,5 plantas m^{-1} e os tratamentos apresentaram estande significativamente maior em relação à testemunha sem capina com 9 plantas m^{-1} . O estande médio para os tratamentos com aplicação de herbicida com pulverizador de barras foi de 13,5 plantas m^{-1} e os tratamentos com o drone de 12,87 plantas m^{-1} . Nas avaliações do peso de mil grãos, não foi evidenciado diferença significativa para nenhum dos tratamentos e testemunhas (Tabela 19).

Quanto à produtividade da soja, os tratamentos não apresentaram diferença significativa quando comparados entre si e com a testemunha com capina (Tabela 20). A média dos tratamentos com drone pulverizador foi de 5.111,14 $kg\ ha^{-1}$ e 4.954,11 $kg\ ha^{-1}$ para o pulverizador de barras. A testemunha sem capina obteve produtividade de 1.857,79 $kg\ ha^{-1}$, significativamente menor quando comparada aos tratamentos com aplicação de herbicidas e à testemunha com capina com produtividade de 4.578,26 $kg\ ha^{-1}$, aproximadamente 2,5 vezes maior (Tabela 20).

De acordo com Forte et al. (2017) a competição com as plantas daninhas pode acarretar redução do desempenho agrônomo, produtividade e qualidade de grãos da soja. Quando o controle não é realizado ou é ineficiente, se torna um dos principais fatores relacionados com a diminuição da produção da soja (VARGAS; ROMAN, 2006) e qualidade dos grãos.

Tabela 18 - Estande médio da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 2. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	12,50a	
Testemunha sem capina (TS)	9,00b	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	13,50a	13,00a
Duas aplicações	12,25a	14,00a
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	0,55	0,4662 ^{ns}
Número de aplicação (N)	0,02	0,8833 ^{ns}
P x N	1,80	0,1969 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	11,24	0,0035*
TC x TS	8,69	0,0086*
CV (%)	13,57	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 19 - Peso médio de mil grãos (PMG) da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 2. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	174,24	
Testemunha sem capina (TS)	176,36	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	167,71	163,41
Duas aplicações	164,56	167,02
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	0,00	0,8955 ^{ns}
Número de aplicação (N)	0,00	0,9736 ^{ns}
P x N	2,99	0,6297 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	0,99	0,1245 ^{ns}
TC x TS	0,00	0,8299 ^{ns}
CV (%)	8,16	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

Tabela 20 - Produtividade (kg ha⁻¹) média da soja dos diferentes tratamentos com aplicação dos herbicidas glifosato e cletodim e testemunhas, experimento 2. Safra agrícola 2021/22. Botucatu, SP.

Testemunha capina (TC)	4578,26a	
Testemunha sem capina (TS)	1857,80b	
	Drone	Pulverizador de barras
Uma aplicação	5264,14a	4627,14a
Duas aplicações	4958,14a	5281,09a
Causa da variação	Teste F	Probabilidade
Pulverizador (P)	0,24	0,6273 ^{ns}
Número de aplicação (N)	0,30	0,5909 ^{ns}
P x N	2,28	0,1484 ^{ns}
Testemunhas x Tratamentos	43,45	<0,0001*
TC x TS	36,62	<0,0001*
CV (%)	14,36	

^{ns}: não significativo; * significativo à $p \leq 0,05$ pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem à $p < 0,05$, pelo teste Tukey.

2.4 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais pode-se constatar que:

Nas avaliações de controle das plantas daninhas apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) ambas as tecnologias de pulverização foram consideradas eficazes quando os herbicidas glifosato e cletodim foram aplicados sequencialmente;

O drone pulverizador, com taxa de aplicação 8 vezes menor, promoveu excelentes níveis de controle das três espécies de plantas daninhas equiparando aos níveis de controle obtidos com o pulverizador de barras (terrestre) quando os herbicidas foram aplicados sequencialmente;

As diferentes tecnologias dotadas de pontas de pulverização TT 11002 no controle das plantas daninhas não afetaram a produtividade da soja, com vantagem do drone em taxa de aplicação oito vezes menor quando comparada ao pulverizador terrestre de barras.

REFERÊNCIAS

- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 780-785, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 395 p., 2009.
- CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. **Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 213-222, 2019.
- CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. **Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 261-282, 2019.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Companhia **Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 10, n. 4, p. 1-83, Jan, 2023.
- FORTE, C. T.; BASSO, F. J. M.; GALON, L.; AGAZZI, L. R.; NANEMACHER, F.; CONCENÇO, G. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. **Agrária- Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 2, p. 185-193, 2017.
- KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, 2000.
- LAMEGO, F. P.; SCHAEGLER, C. E. **Fisiologia vegetal e a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed., p. 233-245, 2019
- LORENZI, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 7 ed., 383 p., 2014.
- MACHINESKI, G. S.; DALAZEN, G.; VICTOLA, C. A. G.; COLOMBO, L. A.; BIDOIA, F. L. Viabilidade técnica e econômica da adição de inibidores da ACCase e da ALS ao glifosato no controle de plantas daninhas e no rendimento de grãos da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 3. 2019.
- MARTIN, D.; SINGH, V.; LATHEEF, M.A.; BAGAVATHIANNAN, M. Sprayer Deposition on Weeds (*Palmer Amaranth* and *Morningglory*) from a Remotely Piloted Aerial Application System and Backpack Sprayer. **Drones** 2020, v.4, 59, 2020.
- MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 139 p., 1990.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley and Sons, 1974.

PEREIRA, C. S.; KERBER, J. C.; FIORINI, I. V. A. Controle de plantas daninhas na cultura da soja com aplicação de glifosato por contato com rolo de polyester.

Revista Brasileira de Herbicidas, v. 18, n. 4, p. 1-8, 2019.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas.

Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. Manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas na cultura da soja Roundup Ready®. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 683-697, 2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS.

Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, p. 42, 1995.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Manejo e controle de plantas daninhas na cultura de soja. **Embrapa Trigo**, 66 p., 2006.

ZHANG, K., et al. Evaluation of herbicides aerially applied from a small unmanned aerial vehicle over wheat field. **Int J Precis Agric Avia**, v. 3, n. 1, p. 49-53, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições experimentais que o estudo foi conduzido, pode-se constatar que o drone pulverizador proporcionou menores níveis de cobertura quando comparado ao pulverizador de barras nos dois experimentos conduzidos na safra agrícola 21/2022. Os depósitos da pulverização com drone pulverizador foram maiores que aqueles obtidos com o pulverizador de barras, enfatizado com o controle excelente das espécies de plantas daninhas avaliadas em ambos experimentos.

As tecnologias de pulverização com drone e convencional foram consideradas eficazes nas avaliações de controle das plantas daninhas apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) quando os herbicidas glifosato e cletodim foram aplicados sequencialmente.

O drone pulverizador, apresentou níveis de controle considerados excelentes para as três espécies de plantas daninhas avaliadas quando os herbicidas foram aplicados sequencialmente, com taxa de aplicação 8 vezes menor que o pulverizador de barras que apresentou níveis de controle classificados também como excelentes.

A produtividade da soja não foi afetada pelas diferentes tecnologias de pulverização em estudo.

Independente do desenho da área o drone modelo Pelicano 2020 da marca Sky Drones mostrou-se condizente com as informações de capacidade de campo operacional do fabricante, realizando a aplicação de 1 hectare na taxa de 10 L ha⁻¹ em tempo menor que 7 minutos.

Novos estudos com drones devem ser conduzidos com taxas de aplicação diferentes em condições operacionais variáveis para obtenção de dados que contribuam para o melhor conhecimento desta tecnologia de pulverização não tripulada.

REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor. Brasília: ANAC, 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-parauso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2021.

BECKER, R. S.; ALONÇO, A. S.; FRANCETTO, T. R.; RODRIGUES, H. E.; BOCK, R.; MENDONÇA, M. T. Inovações tecnológicas em máquinas agrícolas para controle de plantas daninhas. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 98-108, jul./dez. 2020.

CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges o fair craft and drone sprayer applications. **Outlooks on Pest Management**, 6 p., 2020.

CAVENAGHI, A. L.; CARBONARI, C. A. **Tecnologia de aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2 ed, p. 261-282, 2019.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 10, n. 4, p. 1-83, Jan, 2023.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 9, n. 12, p. 1-88, Set, 2022.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA (Brasília). Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivo e sementes. Portaria nº 298, ed. 182, pág. 14, de 22 de setembro de 2021. Diário Oficial da União. 24 set. 2021.

PEREIRA, C. S.; LIMA, C.; MEDEIROS, A. L.; ARANTES, S. A. C. M.; ASSIS, R. P.; FIORINI, I. V. A.; CARVALHO, G. News techniques for the application of herbicides on soybean crops. **Planta Daninha**, v. 36, p. 7, 2018.