

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUANA DE LIMA LOPES

Uso de aeronave remotamente pilotada para pulverização agrícola em diferentes condições operacionais

Uberlândia

2024

LUANA DE LIMA LOPES

Uso de aeronave remotamente pilotada para pulverização agrícola em diferentes condições operacionais

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de doutor em Agronomia.

Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.

Coorientador: Prof. Dr. Quintiliano Siqueira Schrodin Nomelini.

Uberlândia

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

L864 2024	<p>Lopes, Luana de Lima, 1990-     Uso de aeronave remotamente pilotada para pulverização agrícola em diferentes condições operacionais [recurso eletrônico] / Luana de Lima Lopes. - 2024.</p> <p>    Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.     Coorientador: Quintiliano Siqueira Schroden Nomelini.     Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia.     Modo de acesso: Internet.     Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.360">http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.360</a>     Inclui bibliografia.     Inclui ilustrações.</p> <p>    1. Agronomia. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976-, (Orient.). II. Nomelini, Quintiliano Siqueira Schroden, 1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 631</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP  
38400-902

Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



## ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese 007/2024, PPGAGRO				
Data:	Vinte e oito de maio de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento:	16:40
Matrícula do Discente:	12113AGR004				
Nome do Discente:	Luana de Lima Lopes				
Título do Trabalho:	Uso de aeronave remotamente pilotada para pulverização agrícola em diferentes condições operacionais				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Quintiliano Siqueira Schroden Nomelini - UFU; Adriano Arrué Melo - UFSM; Edney Leandro da Vitória - UFES; Elton Fialho dos Reis - UEG; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU orientador do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/05/2024, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Quintiliano Siqueira Schroden Nomelini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/05/2024, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edney Leandro da Vitória, Usuário Externo**, em 03/06/2024, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elton Fialho dos Reis, Usuário Externo**, em 03/06/2024, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Arrué Melo, Usuário Externo**, em 17/06/2024, às 16:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5428671** e o código CRC **89363361**.

Dedico com todo meu amor este trabalho ao meu pai, mãe (*in memoriam*) e irmã, pelo estímulo, carinho e compreensão.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me capacitado, por estar sempre comigo e ter me dado a oportunidade em estar realizando mais um sonho em minha vida profissional.

Ao meu pai, João, um incentivador do ensino, pelo apoio na caminhada e por compreender a minha ausência. Obrigada pelas conversas, pelas brincadeiras, principalmente as de raciocínio lógico, que brincávamos quando eu era criança. Tenho certeza que essas coisas despertaram em mim a vontade e curiosidade em saber como tudo acontece e hoje ser pesquisadora.

A minha mãe (*in memoriam*), Rosamélia, que nos deixou recentemente, pela inspiração e por ter sido um modelo de mulher virtuosa. Obrigada por ter me ensinado a ser forte, a ser persistente no que desejo, e também por ter sido minha confidente, inclusive, é uma das coisas que mais sinto falta. Sou grata a Deus por ter tido a senhora como mãe.

A minha irmã, Ludymilla, pela compreensão, motivação, pelo seu esforço em estar presente e por ser meu auxílio nos dias tristes. A pessoa mais trabalhadora e dedicada que conheço. Obrigada por me apoiar em fazer aquilo que quero e acredito. Minhas vitórias são construídas com a sua ajuda.

Agradeço ao orientador, professor Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, pela paciência, cumplicidade, amizade, dedicação, conhecimento compartilhado, por me ouvir e pela orientação nesta caminhada. O senhor é uma inspiração para mim. E como orientador possibilitou que tudo se tornasse possível. Sempre será um exemplo de pessoa e profissional. Quando aprovada no processo seletivo fiquei muito contente e entusiasmada em poder trabalhar com o senhor, sabendo já previamente da sua integridade e anseio pela ciência. Não posso deixar de agradecê-lo também pelo cuidado que teve comigo nos momentos difíceis, obrigada pelo apoio. Estendo também aqui, agradecimentos ao coorientador, Prof. Dr. Quintiliano Siqueira Schroden Nomelini, que prontamente nos auxiliou nas análises de dados.

As colegas Layanara e Maria Clara por estarem sempre prontas a me ajudar no que fosse preciso.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante o curso de doutorado e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) por ter proporcionado todas as ferramentas e utensílios necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)



## RESUMO

LOPES, Luana de Lima. **Uso de aeronave remotamente pilotada para pulverização agrícola em diferentes condições operacionais**. 2024. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

O emprego de novas tecnologias na agricultura que possam oferecer maior flexibilidade em campo sem perder a eficiência é de grande importância. Dessas recentes tecnologias que surgiram têm-se as aeronaves remotamente pilotadas (RPAs). Porém, pesquisas ainda são necessárias, a fim de entender a dinâmica desse equipamento. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da aplicação com RPA na cultura da soja, do milho e na aplicação de glifosato para o controle de *Urochloa decumbens* utilizando diferentes pontas de pulverização, totalizando três experimentos. Cada ensaio contou com quatro tratamentos e oito repetições. Na cultura da soja os tratamentos foram compostos pela aplicação aérea (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) com as pontas XR 11001, AirMix 11001 e COAP 9001. Para efeito de comparação, foi realizada aplicação terrestre via pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> (100 L ha<sup>-1</sup>) com a ponta XR 110015. Nas aplicações na cultura do milho e do glifosato para o controle de *Urochloa decumbens* os tratamentos foram os diferentes métodos de aplicação, aéreo (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) e terrestre (pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>), e as pontas XR 11001 e AirMix 11001. Foram avaliados a deposição, quantificada por meio de um traçador por espectrofotometria, e o espectro de gotas, através da análise do papel hidrossensível, e foi realizado o estudo da qualidade da aplicação por meio da metodologia do Controle Estatístico de Processo. Ainda, foi avaliada a eficácia no controle, a partir da aferição visual com pontuação percentual, na área de aplicação do herbicida para o controle de *Urochloa decumbens*. Diante dos resultados obtidos, pode-se apontar que a aplicação via RPA se apresentou como uma tecnologia adequada dentro das condições estudadas. Na deposição, a RPA se destacou, porém na cobertura e na densidade de gotas a aplicação terrestre apresentou melhor desempenho. Para todas as aplicações, o processo de deposição apresentou qualidade do ponto de vista estatístico. A ponta AirMix se destacou na deposição e na menor porcentagem de gotas menores de 100 µm. Aos 21 dias após as aplicações, o controle de *Urochloa decumbens* ficou acima dos 84% em todos os tratamentos.

**Palavras-chave:** agricultura inteligente; aplicação de baixo volume; tecnologia de aplicação.

## ABSTRACT

LOPES, Luana de Lima. **Use of remotely piloted aircraft for agricultural spraying in different operating conditions**. 2024. 145f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Institute of Agricultural Sciences, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2024.

The use of new technologies in agriculture that can offer greater flexibility in the field without losing efficiency is of great importance. One of these recent technologies that have emerged are remotely piloted aircraft (RPAs). However, research is still necessary in order to understand the dynamics of this equipment. Therefore, the present work aimed to evaluate the quality of the application with RPA in soybean and corn crops and in the application of glyphosate to control *Urochloa decumbens* using different spray nozzles, totaling three experiments. Each trial had four treatments and eight replications. In the soybean crop, the treatments consisted of aerial application (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) with the XR 11001, AirMix 11001 and COAP 9001 nozzles. For comparison purposes, ground application was carried out via a backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub> (100 L ha<sup>-1</sup>) with the XR 110015 nozzle. In applications in corn crop and glyphosate for the control of *Urochloa decumbens*, the treatments were different application methods, aerial (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) and ground (pressurized knapsack sprayer with CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>), and the XR 11001 and AirMix 11001 nozzles. The deposition was evaluated, quantified using a spectrophotometric tracer, and the droplet spectrum, through the analysis of the water-sensitive paper, and the quality of the application was studied using the Statistical Process Control methodology. Furthermore, the effectiveness in control was evaluated, based on visual measurement with a percentage score, in the area of application of the herbicide for the control of *Urochloa decumbens*. Given the results obtained, it can be pointed out that the application via RPA presented itself as an appropriate technology within the conditions studied. In deposition, RPA stood out, but in terms of coverage and droplet density, the ground application performed better. For all applications, the deposition process presented quality from a statistical point of view. The AirMix nozzle stood out in terms of deposition and the lowest percentage of droplets smaller than 100 µm. At 21 days after applications, *Urochloa decumbens* control was above 84% in all treatments.

**Keywords:** smart agriculture; low volume application; application technology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo 2

Figura 1 – Campo experimental com a cultura da soja, cultivar Pioneer 96y90.....	29
Figura 2 – Arranjo experimental.....	30
Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental .....	31
Figura 4 – Aplicações em campo.....	33
Figura 5 – Forma de amostragem das folhas para avaliação da deposição .....	34
Figura 6 – Detalhe e caracterização das etiquetas de papel hidrossensível .....	35
Figura 7 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte superior da cultura da soja.....	41
Figura 8 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte inferior da cultura da soja.....	42

### Capítulo 3

Figura 1 – Campo experimental com a cultura do milho, cultivar XB 6016 Vip 3.....	65
Figura 2 – Arranjo experimental.....	66
Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental .....	67
Figura 4 – Forma de amostragem das folhas para avaliar a deposição.....	69
Figura 5 – Detalhe e posicionamento das etiquetas de papel hidrossensível .....	71
Figura 6 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte superior da cultura do milho .....	77
Figura 7 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte inferior da cultura do milho .....	78

### Capítulo 4

Figura 1 – Campo experimental, área infestada por <i>Urochloa decumbens</i> .....	106
Figura 2 – Arranjo experimental.....	107
Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental .....	108
Figura 4 – Forma de amostragem das folhas para avaliar a deposição.....	110
Figura 5 – Caracterização da amostragem do papel hidrossensível na planta .....	112
Figura 6 – Gráficos de controle para a deposição do traçador ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) na aplicação de herbicida (glifosato) para o controle de <i>Urochloa decumbens</i> , empregando RPA e pulverizador costal com duas pontas de pulverização .....	118

Figura 7 – Eficácia de controle de *Urochloa decumbens* (%) 21 DAA da calda herbicida (glifosato) em função de diferentes métodos de aplicação e com emprego de diferentes pontas ..... 131

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada .....	31
Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre .....	32
Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos .....	33
Tabela 4 – Médias da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na cultura da soja promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas .....	39
Tabela 5 – Espectro de gotas obtidos nas partes superior e inferior da cultura da soja promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas .....	44

### Capítulo 3

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada .....	67
Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre .....	68
Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos .....	68
Tabela 4 – Médias da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na cultura do milho promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas .....	74
Tabela 5 – Médias da cobertura (%) e densidade (gotas $\text{cm}^{-2}$ ) de gotas obtidas nas partes superior e inferior da cultura do milho promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas .....	80
Tabela 6 – Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem de gotas com diâmetro menor de 100 $\mu\text{m}$ obtidos nas partes superior e inferior da cultura do milho, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas .....	83

### Capítulo 4

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada .....	108
Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre .....	109
Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos .....	109
Tabela 4 – Descrição da escala de inspeção visual em função da porcentagem de eficácia de controle da planta daninha.....	112
Tabela 5 – Medianas da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de <i>Urochloa decumbens</i> .....	116

Tabela 6 – Médias da cobertura (%), densidade de gotas (gotas cm <sup>-2</sup> ) e amplitude relativa (AR) obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de <i>Urochloa decumbens</i> .....	120
Tabela 7 – Médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm) e porcentagem do volume composto por gotas com diâmetro menor que 100 µm (% < 100 µm, %), obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de <i>Urochloa decumbens</i> .....	125
Tabela 8 – Porcentagem de eficácia no controle de <i>Urochloa decumbens</i> a partir da aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de diferentes pontas, aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) .....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Indução de Ar

ANAVA – Análise de Variância

AR – Amplitude Relativa

BCPC – British Crop Production Council

CEP – Controle Estatístico de Processos

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DAA – Dias Após a Aplicação

DAS – Dias Após a Semeadura

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

DMV – Diâmetro da Mediana Volumétrica

DW – Durbin-Watson

ED50 – Dose necessária para atingir 50% de controle

GLONASS – Sistema Global de Navegação por Satélite

GPS – Sistema de Posicionamento Global

i.a. – Ingrediente Ativo

L – Levene

LCL – Limite de Controle Inferior

ln – Logaritmo Natural

RPA – Aeronave Remotamente Pilotada

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

UAAS – Unmanned Aerial Application Systems

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

UCL – Limite de Controle Superior

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

W – Shapiro-Wilk

% < 100 µm – Porcentagem do volume em gotas menores que 100 µm

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	17
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	17
<b>2 OBJETIVO</b> .....	18
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	18
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	19
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	22
<b>RESUMO</b> .....	23
<b>ABSTRACT</b> .....	24
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
<b>2.1 Área de estudo</b> .....	29
<b>2.2 Unidade experimental e equipamentos</b> .....	30
<b>2.3 Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	32
<b>2.4 Avaliações</b> .....	33
<i>2.4.1 Deposição</i> .....	34
<i>2.4.2 Espectro de gotas</i> .....	35
<b>2.5 Análises Estatísticas</b> .....	36
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
<b>3.1 Deposição</b> .....	39
<b>3.2 Espectro de gotas</b> .....	43
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	59
<b>RESUMO</b> .....	60
<b>ABSTRACT</b> .....	61
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	62
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	65
<b>2.1 Área de estudo</b> .....	65
<b>2.2 Unidade experimental e equipamentos</b> .....	65
<b>2.3 Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	68



<b>2.4 Avaliações</b> .....	<b>69</b>
2.4.1 <i>Deposição</i> .....	69
2.4.2 <i>Espectro de gotas</i> .....	70
<b>2.5 Análises Estatísticas</b> .....	<b>71</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>74</b>
<b>3.1 Deposição</b> .....	<b>74</b>
<b>3.2 Espectro de gotas</b> .....	<b>79</b>
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>100</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>101</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>102</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>103</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>106</b>
2.1 <i>Área de estudo</i> .....	106
2.2 <i>Unidade experimental e equipamentos</i> .....	106
2.3 <i>Delineamento experimental e tratamentos</i> .....	109
<b>2.4 Avaliações</b> .....	<b>110</b>
2.4.1 <i>Deposição</i> .....	110
2.4.2 <i>Espectro de gotas</i> .....	111
2.4.3 <i>Eficácia no controle de <i>Urochloa decumbens</i></i> .....	112
<b>2.5 Análises Estatísticas</b> .....	<b>113</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>116</b>
<b>3.1 Deposição</b> .....	<b>116</b>
<b>3.2 Espectro de gotas</b> .....	<b>120</b>
<b>3.3 Eficácia no controle de <i>Urochloa decumbens</i></b> .....	<b>128</b>
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>133</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>134</b>

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

Na agricultura, a aplicação de produtos fitossanitários é uma medida essencial para a proteção das culturas (Song *et al.*, 2020), e a técnica a ser empregada deve ser eficiente no controle de pragas e/ou doenças, e que ofereça menor risco ambiental e a saúde das pessoas. Nesse sentido, Chappell *et al.* (2019) descrevem que o manejo em intensidade insuficiente resulta em perda na colheita e outros impactos negativos na população de pragas. E o manejo de forma excessiva pode evitar a perda na colheita, porém resulta em impactos negativos a jusante, como a degradação ambiental, destruição de organismos não-alvo e seleção aumentada pela resistência a produtos fitossanitários.

Uma problemática na área de aplicação de produtos fitossanitários é que os operadores que trabalham com esses produtos são frequentemente expostos a altos níveis de contaminantes, e isso pode ter como consequência impactos adversos à saúde desses trabalhadores agrícolas (Yan *et al.*, 2021). No que se refere aos pulverizadores tradicionais, sejam terrestres ou aéreos, eles requerem um operador, e ainda, o coloca em um local potencialmente perigoso, próximo aos produtos químicos. Para minimizar o nível de exposição é importante desenvolver novos métodos de aplicação, como o uso da aeronave remotamente pilotada (RPA), que desloca o operador do veículo de aplicação, consequentemente remove ou minimiza o risco do mesmo à exposição aos produtos durante a aplicação (Giles, 2019). Rahman *et al.* (2021) observaram que a aplicação com o uso de RPAs reduz a contaminação dos trabalhadores.

Nos últimos dez anos, o crescimento do uso de RPAs como equipamentos pulverizadores vêm se destacando globalmente como um novo método de aplicação de produtos, principalmente em países Asiáticos (Wang *et al.*, 2022), onde, inclusive, se predominam pesquisas na área de estudo. Nahiyoon *et al.* (2020) descrevem que as RPAs são uma recente tecnologia de aplicação aérea avançada. Para Ayamga *et al.* (2021), a rápida introdução de inovações de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) no setor agrícola se deu em função das demandas globais por alimentos, e uma dessas inovações é a RPA.

A adoção dessa tecnologia acelerará de acordo com que as empresas de proteção de cultivos pesquisarem, apoiarem e promoverem o uso desse método de aplicação com seus produtos rotulados, tanto sintéticos quanto de base biológica (Li *et al.*, 2019). Carvalho *et al.* (2020) retratam que o desenvolvimento das RPAs possibilita uma aplicação mais direcionada

e na dose correta, especialmente por meio de formulações mais persistentes, minimizando perdas de pulverização em áreas chuvosas.

Outros pontos positivos já foram levantados sobre o uso dessa tecnologia. Por exemplo, Hu *et al.* (2022) relatam que esses equipamentos podem se adaptar a vários terrenos, não requerem plataformas de decolagem específicas e apresentam alta eficiência de trabalho. Conforme os mesmos autores, a capacidade de trabalho de um dia pode exceder 300 acres ( $\cong 121$  ha). Wang *et al.* (2020) e Yang *et al.* (2022) verificaram que o fluxo de ar descendente, chamado *downwash*, gerado pelos rotores pode promover a penetração das gotas no interior do dossel, favorecendo a aplicação no interior da cultura e melhorando o efeito do controle.

As operações de aplicação com baixo volume, que é característico da aplicação com RPAs, requerem uma deposição mais eficiente das gotas na superfície do alvo. Conseqüentemente, a deposição e a retenção de produtos fitossanitários nas superfícies das plantas são um importante desafio para a agricultura (Zhao *et al.*, 2022). Para isso, é de grande importância caracterizar a técnica, nas diferentes condições de aplicação, para se obter respostas quanto a sua eficiência. Richardson *et al.* (2020) descrevem que mesmo com esse maior emprego das RPAs, ainda existem incertezas sobre sua eficiência em relação a uniformidade de deposição da pulverização e a eficiência de aplicação. Fazendo-se necessárias, portanto, mais pesquisas para que se torne possível entender melhor a tecnologia.

Cunha *et al.* (2021) também retrataram sobre o déficit em pesquisas sobre a técnica, principalmente em relação ao Brasil, e segundo os autores, isso dificulta uma análise mais técnica da viabilidade agrônômica, ambiental e econômica. Para Li *et al.* (2021), a integração de RPAs como um novo método de aplicação para a proteção de cultivos requer extensa pesquisa e comparação com as tecnologias de aplicação convencionais validadas. Diante do exposto, o trabalho visou verificar a eficiência da utilização de RPA como ferramenta para aplicação de produtos fitossanitários dentro de condições específicas de campo.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade da aplicação com aeronave remotamente pilotada (RPA) na cultura da soja, do milho e na aplicação de herbicida para o controle de *Urochloa decumbens*, em região de Cerrado brasileiro, utilizando diferentes pontas de pulverização.

## 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da aplicação com RPA na cultura da soja, do milho e na aplicação de herbicida por meio das análises de deposição e espectro de gotas para diferentes pontas de pulverização;
- Verificar se o processo de deposição da calda está sob controle estatístico, aplicando os gráficos de controle de processos;
- Comparar a aplicação via RPA e a terrestre, feita por meio de um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>; e
- Avaliar o efeito das aplicações de herbicida (Glifosato, Roundup<sup>®</sup> Transorb R), via RPA e terrestre, no controle de *Urochloa decumbens*.

## REFERÊNCIAS

- AYAMGA, M.; TEKINERDOGAN, B.; KASSAHUN, A. Exploring the challenges posed by regulations for the use of drones in agriculture in the African context. **Land**, v. 10, n. 2, p. 164, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10020164>.
- CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; MOTA, A. A.; ANTUNIASSI, U. R. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1564/v31\\_apr\\_07](https://doi.org/10.1564/v31_apr_07).
- CHAPPELL, T. M.; MAGAREY, R. D.; KURTZ, R. W.; TREXLER, C. M.; PALLIPPARAMBIL, G. R.; HAIN, E. F. Perspective: service-based business models to incentivize the efficient use of pesticides in crop protection. **Pest Management Science**, v. 75, n. 11, p. 2865-2872, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5523>.
- CUNHA, J. P. A. R. da; ALVARENGA, C. B. de; RINALDI, P. C. N.; MARQUES, M. G., ZAMPIROLI, R. Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 245-254, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p245-254/2021>.
- GILES, D. Remotely piloted aircraft for agricultural spraying: multiple-season results in commercial-scale applications. In: Pesticide formulation and delivery systems: 39th Volume, Innovative formulation, application and adjuvant technologies for agriculture. **ASTM International**, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1520/STP161920180082>.
- HU, H.; KAIZU, Y.; HUANG, J.; FURUHASHI, K.; ZHANG, H.; LI, M.; IMOU, K. Research on methods decreasing pesticide waste based on plant protection unmanned aerial vehicles: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 811256, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.811256>.
- LI, X.; ANDALORO, J. T.; LANG, E. B.; PAN, Y. Best management practices for unmanned aerial vehicles (UAVs) application of insecticide products on rice. In: **2019 ASABE Annual International Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019. p. 1.
- LI, X.; GILES, D. K.; ANDALORO, J. T.; LONG, R.; LANG, E. B.; WATSON, L. J.; QANDAH, I. Comparison of UAV and fixed-wing aerial application for alfalfa insect pest control: evaluating efficacy, residues, and spray quality. **Pest Management Science**, v. 77, n. 11, p. 4980-4992, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6540>.
- NAHIYOON, S. A.; CUI, L.; YANG, D.; YAN, X.; RUI, C.; YUAN, H. Biocidal radiuses of cycloxyaprid, imidacloprid and lambda-cyhalothrin droplets controlling against cotton aphid (*Aphis gossypii*) using an unmanned aerial vehicle. **Pest Management Science**, v. 76, n. 9, p. 3020-3029, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5849>.
- RAHMAN, M. F. F.; FAN, S.; ZHANG, Y.; CHEN, L. A comparative study on application of unmanned aerial vehicle systems in agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11010022>.

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; SOMCHIT, C.; DUNKER, C.; STRAND, T. M.; KIMBERLEY, M. O. Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1282-1290, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5638>.

SONG, R.; SHEN, G.; LIU, Y.; TANG, F.; CHEN, Q.; SUN, P. Preparation and characterization of an oil-in-water microemulsion of thiamethoxam and acetamiprid without organic solvent for unmanned aerial vehicle spraying. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 607, p. 125485, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125485>.

WANG, C.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; HAN, L.; LI, Y.; ZHANG, H.; WONGSUK, S.; LI, Y.; WU, X.; HE, X. Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2449-2466, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6875>.

WANG, J.; LAN, Y.; WEN, S.; HEWITT, A. J.; YAO, W.; CHEN, P. Meteorological and flight altitude effects on deposition, penetration, and drift in pineapple aerial spraying. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 15, n. 1, p. e2382, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/apj.2382>.

YAN, X.; ZHOU, Y.; LIU, X.; YANG, D.; YUAN, H. Minimizing occupational exposure to pesticide and increasing control efficacy of pests by unmanned aerial vehicle application on cowpea. **Applied Sciences**, v. 11, n. 20, p. 9579, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11209579>.

YANG, S.; XU, P.; JIANG, S.; ZHENG, Y. Downwash characteristics and analysis from a six-rotor unmanned aerial vehicle configured for plant protection. **Pest Management Science**, v. 78, n. 4, p. 1707-1720, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6790>.

ZHAO, R.; YU, M.; SUN, Z.; LI, L. J.; SHANG, H. Y.; XI, W. J.; LI, B.; LI, Y. Y., XU, Y.; WU, X. M. Using tank-mix adjuvant improves the physicochemical properties and dosage delivery to reduce the use of pesticides in unmanned aerial vehicles for plant protection in wheat. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2512-2522, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6879>.

## CAPÍTULO 2

Aeronave remotamente pilotada como tecnologia para pulverização agrícola na cultura da soja  
em região de Cerrado

## **Aeronave remotamente pilotada como tecnologia para pulverização agrícola na cultura da soja em região de Cerrado**

### **RESUMO**

A agricultura moderna tem contado com novas tecnologias e o uso das aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) como uma ferramenta para aplicação de produtos fitossanitários tem mostrado potencial. Com isso, o trabalho objetivou avaliar a qualidade da aplicação com a RPA na cultura da soja em região de Cerrado com uso de diferentes pontas de pulverização. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos incluíram a aplicação aérea (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) com as pontas XR 11001 (jato plano), AirMix 11001 (jato plano com indução de ar) e COAP 9001 (jato cônico vazio); e para efeito de comparação, foi realizada aplicação terrestre (pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>) com a ponta XR 110015 (jato plano). Foram avaliados a deposição, quantificada por meio de um traçador (azul brilhante) por espectrofotometria, e o espectro de gotas, através da análise do papel hidrossensível. O ensaio em campo e as análises posteriores foram realizados em uma área de cultivo de soja, durante a fase reprodutiva (1,1 m de altura), na fazenda experimental do Campus Glória e no laboratório de mecanização agrícola, da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). Foi realizado, ainda, um estudo da qualidade da aplicação por meio da metodologia do Controle Estatístico de Processo. No geral, os resultados mostraram que a aplicação via RPA apresentou melhor desempenho de deposição com as pontas jato cônico vazio COAP 9001 e jato plano com indução de ar AirMix 11001 e para todos os tratamentos o processo esteve sob controle estatístico. Essa tecnologia apresentou melhor penetração da calda no dossel da cultura. Com a RPA, a cobertura foi inferior a 1%. Na parte inferior da cultura, para cada uma das pontas, os valores do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) foram maiores, revelando um maior poder de penetração de gotas maiores no interior do dossel. As pontas de jato plano com indução de ar AirMix 11001 e a de jato plano XR 110015 se destacaram com a menor porcentagem de gotas menores de 100 µm, o que pode resultar em menor perda por deriva. Diante dos resultados obtidos, pode-se citar que a aplicação via RPA se apresentou como uma tecnologia adequada dentro das condições estudadas.

**Palavras-chave:** aplicação aérea de produtos fitossanitários; *Glycine max* (L.) Merrill; veículo aéreo não tripulado (VANT).



## Remotely piloted aircraft as a technology for agricultural spraying in the soybean crop in the Savannah (Cerrado) region

### ABSTRACT

Modern agriculture has relied on new technologies and the use of remotely piloted aircraft (RPAs) as a tool for pesticide application has shown potential. Therefore, the work aimed to evaluate the quality of application with RPA in soybean crop in the Cerrado region using different spray nozzles. The experiment was conducted in a completely randomized design, with four treatments and eight replications. Treatments included aerial application (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) with the nozzles XR 11001 (flat fan), AirMix 11001 (air-induction flat fan) and COAP 9001 (hollow cone spray); and for comparison purposes, ground application was carried out (backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>) with the XR 110015 nozzle (flat fan). Deposition was evaluated, quantified using a tracer (brilliant blue) by spectrophotometry, and the droplet spectrum, through analysis of water-sensitive paper. The field trial and subsequent analyzes were carried out in a soybean crop area, during the reproductive stage (1.1 m high), on the experimental farm at Campus Glória and in the agricultural mechanization laboratory at the Federal University of Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). An application quality study was also carried out using the Statistical Process Control methodology. Overall, the results showed that application via RPA had the best deposition performance with the COAP 9001 empty hollow cone nozzles and AirMix 11001 flat fan with air induction and for all treatments the process was under statistical control. This technology showed better penetration of the solution into the canopy of the crop. With RPA, coverage was less than 1%. At the bottom of crop, for each of the nozzles, the values of the volumetric median diameter (VMD) were higher, revealing a greater penetration power of larger droplets inside the canopy. The AirMix 11001 air-induction flat fan and the XR 110015 flat fan nozzles stood out with the lowest percentage of droplets smaller than 100 µm, which may result in lower drift loss. In view of the results obtained, it can be mentioned that the application via RPA was presented as an adequate technology within the conditions studied.

**Keywords:** aerial application of pesticides; *Glycine max* (L.) Merrill; unmanned aerial vehicle (UAV).

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie leguminosa da família Fabaceae, apresenta folhas compostas, pequenas flores brancas ou roxas e vagens contendo geralmente entre uma e quatro sementes. Possui, em média, uma altura de 0,2-1,5 m para as diferentes variedades. A produção mundial da cultura se concentra nos Estados Unidos, Brasil e Argentina, e representaram aproximadamente 82% da produção global de soja no ano de 2021 (Fang; Kong, 2022).

A soja é uma cultura importante em todo o mundo, que fornece uma fonte sustentável de proteína e óleo (Peng *et al.*, 2021). A cultura cobre cerca de 139 milhões de hectares (USDA, 2024). No Brasil, é uma das principais *commodities* agrícolas, sendo atualmente o maior produtor mundial (Hoffmann; Boller; Forcelini, 2022). Na safra de 2022/23 a produção da soja em grãos foi de 154,6 milhões de toneladas (CONAB, 2024). No que se refere aos biomas, o Cerrado, que se estende em 21% do território brasileiro, é a maior área agrícola estabelecida do Brasil, responsável por 12% da produção mundial da soja (Garrett *et al.*, 2022; Russo *et al.*, 2018).

Em um cenário de alta produtividade e com o rápido desenvolvimento da agricultura moderna, os produtos fitossanitários se apresentam como a alternativa no combate a pragas e doenças nas culturas. No entanto, esses produtos podem ser prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (Wu *et al.*, 2022). Uma questão levantada por Tong *et al.* (2021) é a dificuldade em equilibrar a eficiência e a segurança da aplicação dos produtos.

Nesse sentido, a popularização de novas tecnologias agrícolas tem um papel potencialmente positivo na garantia da produção e segurança alimentar. Ademais, os rendimentos das culturas aumentam quando se adotam e usam com eficiência essas tecnologias modernas para alcançar uma produção maior com recursos limitados (Zhang *et al.*, 2022). O uso de produtos fitossanitários influencia o efeito de controle e fazer o seu uso correto pode reduzir custos, proteger o ambiente ecológico e melhorar a qualidade do cultivo (Li *et al.*, 2021). Dessa forma, apresentar as diversas tecnologias aos agricultores permitirá que eles adquiram habilidades para alcançar uma produção agrícola social, econômica e ambientalmente consciente (Silva *et al.*, 2020).

Na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários apresentam-se as aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), como uma recente tecnologia. As RPAs são definidas como veículos aéreos que operam sem a necessidade de um piloto humano a bordo (Gugan; Haque,

2023). Essa aeronave é controlada de forma remota e pode voar de forma autônoma usando rotas de voo pré-programadas. As RPAs apresentam capacidade de voar em baixas altitudes e pairar próximo as culturas em diferentes alturas de aplicação e velocidades variadas com precisão e segurança, tornando uma ferramenta potencial nessa área (Martin *et al.*, 2022). O mercado de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários utilizando RPA tem crescido de forma contundente nos últimos anos na América Latina, onde o Brasil se destaca, com operação de aproximadamente 2,5 mil pulverizadores RPA, com estimativa de 10 mil RPAs para 2028 (CNA, 2022).

As taxas de aplicação para sistemas com RPA são menores que a aplicação convencional. Esses baixos volumes produzem altas concentrações de princípio ativo no tanque. Com isso, as aplicações devem garantir que não haja sobreposição excessiva ou lacunas no padrão de pulverização, a fim de evitar causar fitotoxicidade ou aplicação deficiente (Xue *et al.*, 2016).

Wang *et al.* (2023a) salientam que a aplicação com RPA pode causar deriva das gotas em uma determinada altitude, o que pode causar danos aos organismos não-alvo. Uma forma de diminuir a deriva é aumentar o tamanho das gotas, porém, a eficácia ideal de controle de pragas usando gotas pequenas também é considerada pelos aplicadores, pois, embora mais suscetíveis à deriva, as gotas finas podem apresentar maior capacidade de penetração e cobertura no dossel da cultura (Cunha; Marques; Alves, 2016). Zhang *et al.* (2023) descrevem os inegáveis desafios que existem na prática da aplicação com a RPA. Além do potencial risco de deriva, já mencionado, existe ainda a incerteza na deposição da pulverização nas diferentes culturas e a quebra inesperada de folhas induzida pelo *downwash*. E que deve-se considerar que a estratégia de operação em diferentes cenários e para diferentes alvos de cultivo não é a mesma.

Para promover a aplicação desejada, uniforme, sustentável, segura e eficaz de produtos fitossanitários, tem surgido pontas de diferentes modelos e ângulos de pulverização que podem otimizar a aplicação (Negrisoli *et al.*, 2021). As características e o espectro das gotas podem variar para as diferentes pontas que possuem suas distintas características estruturais (Sayinci; Demir; Açik, 2020). Estudos recentes sobre a quebra das lâminas líquidas em gotas mostram que o tamanho da gota depende ainda da vazão e da tensão superficial da calda (Kooij *et al.*, 2018). Além disso, o desempenho das pontas é afetado por diferentes parâmetros, como a pressão de operação, o ângulo de pulverização, a altura de aplicação e outros (Tripathi; D'Souza, 2020). Identificar a distribuição do tamanho de gotas das pontas em condições normais de trabalho é, desse modo, de grande importância para orientar a escolha mais

adequada em relação ao alvo, propriedades da calda e condições ambientais (Cerruto *et al.*, 2021).

Na aplicação em campo de produtos fitossanitários, a ponta que amplamente é utilizada é a ponta de jato plano devido à sua propriedade de produzir uma distribuição relativamente uniforme ao longo da faixa de aplicação (Dafsari *et al.*, 2021), possui o campo de fluxo em forma de leque e a seção transversal da pulverização é elíptica (Vallet; Tinet, 2013). As pontas de jato plano simples podem ser complementadas por um sistema Venturi para obter tamanhos de gotas maiores e, portanto, evitar a deriva das menores gotas no processo de pulverização, sendo chamadas pontas com indução de ar. Um estudo de Sijis *et al.* (2023), analisando o tamanho da gota das pontas de pulverização com indução de ar Venturi, observou que o aumento no tamanho da gota em relação às pontas convencionais é devido à queda da pressão adicional na câmara Venturi. Isso faz com que o ar seja puxado para dentro da ponta por meio dos orifícios presentes e seja misturado com a calda (Doruchowski *et al.*, 2017).

Outro tipo de ponta comumente utilizada é a ponta de jato cônico vazio. Elas possuem um componente chamado difusor, que apresenta aberturas, por meio das quais a calda pressurizada é emitida. Nesse processo é gerado um vetor de velocidade rotacional no fluido que potencializa uma queda de pressão na zona estreita entre o difusor e o disco de orifício circular (Singh *et al.*, 2019), fazendo com que a calda seja pulverizada em forma esférica, com menor quantidade de gotas no centro. Essas pontas produzem espectro de gotas menores, o que pode facilitar o transporte das mesmas pelas correntes de ar ou a evaporação, mas ao mesmo tempo também apresentam maior potencial de penetração e cobertura do alvo.

Os dados de pesquisas sobre o desempenho das RPAs como uma tecnologia de aplicação nas áreas agrícolas no Brasil são escassos e são estudos fundamentais para a realização de aplicações aéreas eficazes e seguras de produtos de aplicação agrícola. Segundo Ahmed *et al.* (2021), o sucesso do uso do pulverizador tipo RPA está sujeito às condições meteorológicas. Nascimento e Novais (2020) descrevem a variabilidade climática no bioma Cerrado. No período de seca (outono/inverno) as temperaturas são moderadas, porém apresenta baixa umidade. Para se ter uma ideia, na região central do bioma encontram-se registros de umidade relativa do ar abaixo dos 30%, nesse período. Observa-se com a configuração da circulação atmosférica nos níveis mais baixos da atmosfera ( $\approx 540$  m de altitude), ventos mais intensos no inverno, superiores a  $5,0 \text{ m s}^{-1}$  que avançam o centro do bioma. Estes, se enfraquecem atingindo velocidades menores que  $5,0 \text{ m s}^{-1}$  tendendo para o Sul. A média de temperatura no período de primavera/verão (outubro a março) fica acima de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , com meses

atingindo temperaturas acima dos 30 °C em algumas regiões do bioma. O que traz a importância de ensaios e dados relacionados a tecnologia de aplicação em diferentes áreas.

Wang *et al.* (2021) relatam que há poucos estudos experimentais abrangentes sobre os efeitos do tipo de ponta na deposição e na deriva quando utilizado a RPA como pulverizador. Martin *et al.* (2020) corroboram descrevendo que dados de pesquisa fazendo a comparação entre as aplicações por pulverizadores terrestres e com RPAs são limitados e que é essencial caracterizar e comparar a deposição e as características dos espectros de gotas produzidos pelos diferentes sistemas de aplicação em condições de campo para verificar a viabilidade da tecnologia. Com isso, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade da aplicação com a aeronave remotamente pilotada na cultura da soja em região de Cerrado utilizando diferentes pontas de pulverização, e comparar essa aplicação aérea com a terrestre.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O experimento em campo foi conduzido na safra 2022/2023, em lavoura de soja, na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), com as coordenadas de latitude Sul 18°57'12" e longitude Oeste 48°12'41", na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, durante o mês de janeiro de 2023. A área possui altitude média de 867 m e o clima característico da região é do tipo Aw tropical úmido megatérmico, segundo a classificação de Köppen, caracterizado pelo verão quente e úmido e inverno frio e seco. A temperatura do ar média mensal varia de 20,9 a 23,1 °C. A precipitação média anual é de 1.500-1.600 mm (Rodrigues; Lima, 2019).

O campo onde foi realizado o experimento foi cultivado com a soja 'Pioneer 96y90', semeada no dia 24 de outubro de 2022, com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e densidade de 160.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O ciclo médio da cultura para a região é de 105 a 115 dias. Possui hábito de crescimento indeterminado e é tolerante ao acamamento (Pioneer®, 2021). A aplicação ocorreu no estágio fenológico reprodutivo de início de formação das vagens (R3) em dez de janeiro de 2023, 78 dias após a semeadura (DAS), condição mais crítica para a pulverização em função do maior enfolhamento das plantas nesse estágio. As plantas se encontravam com uma altura média de 1,10 m (Figura 1).

Figura 1 – Campo experimental com a cultura da soja, cultivar Pioneer 96y90

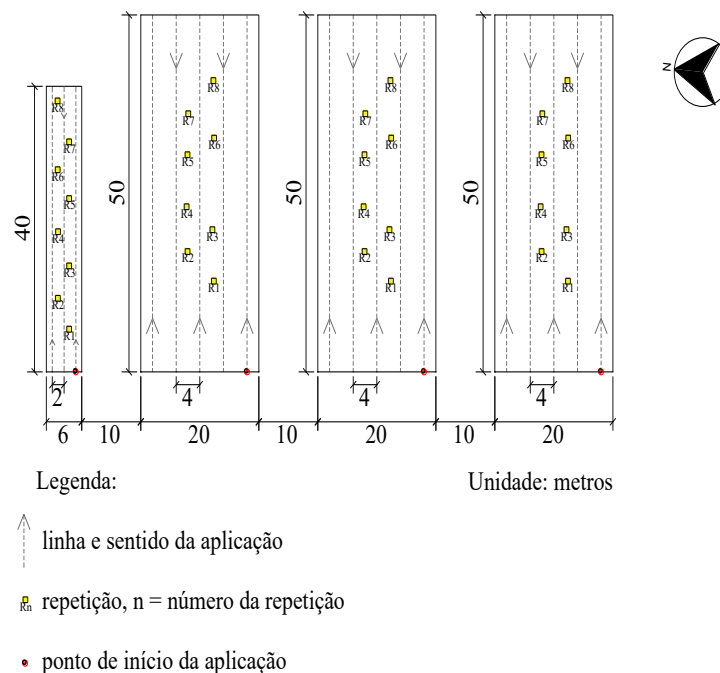


Fonte: A autora, 2023.

## 2.2 Unidade experimental e equipamentos

A área experimental, conforme mostrado na Figura 2, foi composta por quatro parcelas. As aplicações com a aeronave remotamente pilotada (RPA) foram realizadas em parcelas de 50 metros de comprimento e 20 metros de largura, totalizando uma área de 1000 m<sup>2</sup> cada. A parcela que recebeu a aplicação com o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> tinha 40 metros de comprimento e 6 metros de largura, totalizando uma área de 240 m<sup>2</sup>. Em cada parcela onde a aplicação foi realizada com RPA, para a amostragem, foram desconsiderados 5,0 m em cada uma das bordas laterais e das extremidades do comprimento. Na parcela onde foi feita a aplicação terrestre foi desconsiderado 1,0 m em cada uma das bordas, para efeito de bordadura, de forma a garantir que a velocidade dos pulverizadores fosse constante. A distância entre as parcelas era de 10 m (zona tampão). A faixa de trabalho para aplicação aérea foi de 4 m, baseado no trabalho conduzido por Cunha e Silva (2023), e para aplicação terrestre foi de 2 m (largura faixa da barra).

Figura 2 – Arranjo experimental



Fonte: A autora, 2023.

Conforme pode ser visualizado na Figura 2, as repetições de cada tratamento foram posicionadas dentro de cada parcela. Ao se realizar um experimento com RPA, onde as parcelas comumente são maiores, em área, inviabilizam as repetições serem feitas por blocos. Portanto,

se justifica esse arranjo, que é amplamente utilizado por vários autores (Chen *et al.*, 2021; Meng *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019), sendo usual para este campo de pesquisa. Biglia *et al.* (2022) descrevem que dessa forma é possível minimizar a variação das condições ambientais e locais entre as repetições, tornando os dados obtidos comparáveis.

Na aplicação foram utilizados os pulverizadores agrícolas do tipo aeronave remotamente pilotada (RPA) AGRAS MG-1P (DJI, China) (Figura 3a), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (130 rpm/volts), maiores especificações se encontram na Tabela 1, e o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, munido com uma barra com quatro bicos espaçados entre si em 0,5 m (Figura 3b).

Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental



(a) Aeronave remotamente pilotada AGRAS MG-1P (DJI, China); (b) Pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>.  
Fonte: A autora, 2022.

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada

Parâmetro	Descrição
Método de Operação	Controle remoto
Dimensões (mm)	1460 x 1460 x 578 (medidas com braços abertos)
Capacidade de trabalho (ha h <sup>-1</sup> )	4
Sistema de pulverização	Pulverização atomizada
Capacidade do tanque (L)	10
Número de bicos	4
Faixa de Aplicação (m)	4 - 6 (com aplicação de 1,5 - 3,0 m da cultura)
Faixa de precisão radar (m)	0,10
Velocidade máxima operacional (m s <sup>-1</sup> )	7
Modo de posicionamento	GPS + GLONASS* ou manual

\* GPS: Sistema de posicionamento global; GLONASS: Sistema global de navegação por satélite.  
Fonte: DJI, 2018.



As pontas utilizadas na aplicação foram: jato plano padrão XR 11001, XR 110015, ambas da empresa Teejet<sup>®</sup> Technologies (Illinois, EUA), jato plano com indução de ar AirMix 11001 da Agrotop<sup>®</sup> Spray Technology (Obertraubling, Alemanha) e jato cônico vazio COAP 9001 da KGF<sup>®</sup> (Vinhedo, Brasil).

Alguns parâmetros da aplicação variaram conforme o tipo de pulverizador, como a velocidade de deslocamento, a taxa de aplicação e a altura de trabalho, seus valores podem ser visualizados na Tabela 2. Na pulverização terrestre, a pressão de trabalho foi de 100 kPa, e a vazão de cada ponta foi de 0,33 L min<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre

Pulverização	Ponta	Velocidade deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Altura de trabalho (m)
Aérea - RPA	XR 11001	5,7	10	2,0*
Aérea - RPA	AirMix 11001	5,7	10	2,0*
Aérea - RPA	COAP 9001	5,7	10	2,0*
Terrestre	XR 110015	1,1	100	0,5**

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada; \*Altura de voo; \*\* Altura de trabalho em relação à cultura.  
Fonte: A autora, 2023.

Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas na área apresentaram a umidade relativa do ar variando entre 74,0% a 77,0%, com média de 75,8%, a temperatura do ar variou entre 29,4 a 29,9 °C, com média de 29,6 °C, e a velocidade do vento esteve entre 0,2 a 0,9 m s<sup>-1</sup>, com média de 0,6 m s<sup>-1</sup>, medidos por um Termo-higro-anemômetro digital portátil modelo KR825, marca AKROM<sup>®</sup> (São Leopoldo, Brasil).

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi considerado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com um fator (Ponta/método de aplicação), totalizando quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram as diferentes pontas empregadas (XR 11001, AirMix 11001, COAP 9001, XR 110015), já caracterizadas anteriormente. Onde três pontas (XR 11001, AirMix 11001, COAP 9001) foram utilizadas para a aplicação com a RPA e a ponta XR 110015 foi utilizada para a aplicação com o pulverizador terrestre para efeito de comparação, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos

Tratamento	Ponta	Método de aplicação	Pulverizador	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )
1	Jato plano XR 11001	Aérea	RPA	10
2	Jato plano com indução de ar AirMix 11001	Aérea	RPA	10
3	Jato cônico vazio COAP 9001	Aérea	RPA	10
4	Jato plano XR 110015	Terrestre	Costal pressurizado com CO <sub>2</sub>	100

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

## 2.4 Avaliações

Para a RPA, antes da aplicação, foi feito o plano de voo, de acordo com as parcelas, a faixa e a taxa de aplicação, a altura de voo e a velocidade de deslocamento, para que o voo fosse feito a partir de uma programação prévia. Com a calda no tanque dos pulverizadores, a aplicação foi realizada (Figuras 4a e 4b). O voo da RPA foi feito sentido *back-to-back* (vai e vem), assim como as passadas com o pulverizador terrestre.

Figura 4 – Aplicações em campo



(a)



(b)

(a) Aplicação via aeronave remotamente pilotada (RPA); (b) Aplicação via pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>.

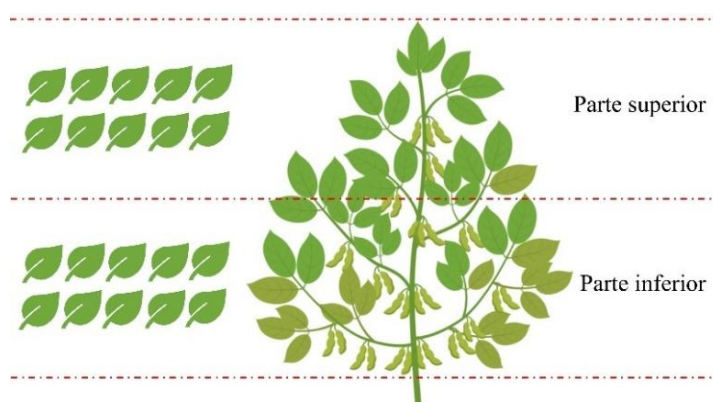
Fonte: A autora, 2023.

### 2.4.1 Deposição

A deposição na cultura foi quantificada por meio da adição de um traçador à calda, constituído de corante alimentício Azul Brilhante (FD&C Blue n.1) catalogado internacionalmente pela Food, Drug & Cosmetic, na dose de  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . A calda era formada por água e corante.

Após a aplicação, as amostragens foram realizadas nas partes superior e inferior da cultura da soja, onde foram coletadas ao acaso dez folhas de cada parte da planta (Figura 5) em oito pontos diferentes por parcela, considerando toda a área útil da parcela. As folhas foram armazenadas de acordo com a altura e a posição correspondente de cada repetição e parcela em sacos plásticos, previamente identificados, que foram fechados e acondicionados em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso, e em seguida transportados para o laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais), local onde foram realizadas as posteriores análises.

Figura 5 – Forma de amostragem das folhas para avaliação da deposição



Fonte: A autora, 2023.

Com as amostras em laboratório, foi feita a remoção do depósito das folhas. Para isso, foram adicionados 100 mL de água deionizada em cada saco plástico com as amostras e, posteriormente, os sacos plásticos com a solução foram agitados para a completa homogeneização utilizando uma mesa agitadora pendular modelo TE240/I da empresa Tecnal (Piracicaba, Brasil), regulada a 250 rpm por 15 minutos, de forma a extrair todo o traçador presente nas amostras.

Das soluções formadas foi quantificado o corante por meio dos valores de absorvância obtidos por espectrofotometria, que consiste em determinar a concentração de uma substância

pela medida da absorção relativa da luz, ou seja, mostra a energia luminosa absorvida pela amostra em uma frequência específica. O espectrofotômetro utilizado no experimento foi da marca Bioespectro (Curitiba, Brasil), modelo SP-22, com lâmpada de tungstênio-halogênio, e cubetas de vidro com caminho óptico de 10 mm, no comprimento de onda de 630 nm para a cor azul.

Para o cálculo da deposição, os valores de absorbância foram transformados em concentração de traçador em  $\mu\text{g L}^{-1}$  utilizando uma curva de calibração previamente determinada a partir de soluções com concentração conhecida do traçador, sendo então, obtido a massa do traçador depositado com relação a quantidade de solução extratora utilizada na lavagem das folhas. Posteriormente, a massa do traçador foi dividida pela área foliar em  $\text{cm}^2$ , de cada amostra (10 folhas por amostra) para que a deposição fosse determinada em  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . A área foliar foi determinada utilizando um medidor de área foliar modelo LI 3100C, da marca Licor® (Lincoln, EUA).

#### 2.4.2 Espectro de gotas

O espectro de gotas formado pela pulverização foi caracterizado por meio das etiquetas de papel hidrossensível, que apresentam dimensões de 76 x 26 mm, da marca Syngenta® (Basileia, Suíça). Foram utilizadas duas etiquetas por repetição, dentro das parcelas, uma na parte superior e uma na parte inferior da cultura (Figura 6a e 6b). Foi utilizado cliques de presilha metálica para fixá-las às plantas de forma a simular a própria folha.

Figura 6 – Detalhe e caracterização das etiquetas de papel hidrossensível



(a) Papel hidrossensível fixado à planta; (b) Forma de amostragem dos papéis hidrossensíveis nas diferentes partes da planta.

Fonte: A autora, 2023.

O papel hidrossensível é uma ferramenta comumente utilizada para avaliar a qualidade da aplicação. Porém, salienta-se a interpretação cuidadosa, pois o processamento de dados resposta das etiquetas é relativamente complicado para definição final da qualidade de deposição das gotas a partir da amostra (Xun; Gil, 2024), dado a dispersão no tamanho e a sobreposição das gotas. Além da possível absorção de umidade do ambiente pelos papéis. E ainda, gotas de diâmetro abaixo de 50  $\mu\text{m}$  não são facilmente mensuráveis mesmo em imagens com melhor resolução (1200 dpi) (Brandoli *et al.*, 2021).

Logo após a aplicação em cada parcela, as etiquetas foram coletadas e alocadas dentro de envelopes de papel, devidamente identificados, sendo então levadas ao laboratório, onde foram digitalizadas e analisadas empregando-se o sistema DropScope<sup>®</sup> da SprayX (São Carlos, Brasil), equipamento exclusivo para esse tipo de análise.

Foram analisados no espectro de gotas, a cobertura (%), a densidade de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume em gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  ( $\% < 100 \mu\text{m}$ ).

## 2.5 Análises Estatísticas

As análises estatísticas de delineamento experimentais são feitas a partir de técnicas como a de modelos lineares ou por meio da análise de variância (ANAVA) em que satisfazendo as pressuposições, relacionadas a cada fator, o teste consiste em comparar o valor da estatística F com os percentis da distribuição F-Snedecor ao nível de significância de 0,05, e quando significativo é feita a comparação de médias (Banzatto; Kronka, 1995; Moraes, 2001; Pimentel-Gomes, 2000). A diferença de médias foi analisada pelo Teste de Tukey, também ao nível de significância de 0,05.

Neste trabalho foi realizado o estudo das pressuposições do modelo linear em que foram empregados para testar a normalidade dos resíduos os testes de Shapiro-Wilk (W) para homogeneidade das variâncias, os testes de Levene (L) e o teste de Durbin-Watson (DW) para independência dos resíduos. Satisfeitas estas pressuposições das variáveis realizou-se um estudo de análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com os quatro tratamentos, sendo a repetição desbalanceada para as variáveis de espectro de gotas.

Nem sempre as pressuposições do modelo linear foram satisfeitas, e quando isso ocorre, uma alternativa no DIC é fazer uso de transformações de dados. Para isso, foram usadas as transformações raiz quadrada e logarítmica ( $\ln$ ). Quando mesmo transformando, não se satisfaz

os pressupostos, foi usado de estatística não paramétrica como o teste de Kruskal-Wallis (Morais, 2001), e representada a medida de posição dos dados a partir das medianas, devido a não normalidade.

De forma complementar para avaliar se o processo de deposição de calda, dentro de cada parcela, estava dentro da variabilidade aceitável, ou seja, verificar a qualidade da deposição, foram confeccionados os gráficos de controle, que faz parte da metodologia de controle estatístico de processos (CEP), onde é possível obter um monitoramento do processo com foco na gestão da qualidade (Oliveira; Silva; Santos, 2023). A análise foi feita para as partes superior e inferior da cultura.

Na construção dos gráficos de controle individual foram utilizadas as medidas individuais de cada tratamento, e para os gráficos de controle da variabilidade entre duas medidas consecutivas utilizou-se a amplitude móvel, conforme Montgomery (2017). O gráfico de controle individual apresenta os limites de controle inferior (LCL) e superior (UCL), e a linha central, que são calculados conforme as Equações 1, 2 e 3. Quando o LCL apresentou valor negativo foi especificado em zero, pois é o menor valor possível a ser encontrado para a deposição.

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (1)$$

$$Linha\ central = \bar{x} \quad (2)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

Em que:

$UCL$  = limite de controle superior;

$\bar{x}$  = média das observações;

$\overline{MR}$  = média das amplitudes móveis de duas observações;

$d_2$  = valor tabulado dependente do número de observações;

$LCL$  = limite de controle inferior.

A média das amplitudes das amostras é calculada a partir da Equações 4 e 5.

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + \dots + MR_m}{m} \quad (4)$$

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (5)$$

Em que:

$MR$  = amplitude móvel;

$x$  = observação.

Os gráficos de controle da variabilidade, utilizando a amplitude móvel, também apresentam os limites superior e inferior e a linha central, que foram calculados a partir das Equações 6, 7 e 8, a seguir:

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad (6)$$

$$Linha\ central = \overline{MR} \quad (7)$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad (8)$$

Em que:

$D_4$  e  $D_3$  são valores tabulados dependente do número de observações.

As análises foram realizadas utilizando o *software* R na versão 4.2.2. (R Core Team, 2020) e os gráficos de controle foram confeccionados no *software* Minitab® na versão 16.2 (Minitab Inc., 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Deposição

Os valores médios da deposição do traçador para as diferentes pontas podem ser visualizados na Tabela 4. Na parte superior da cultura houve maiores valores de deposição, variando entre 1,728 a 3,693  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , quando comparada à parte inferior, que variou entre 0,264 a 0,788  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , conforme era esperado, principalmente em função do estágio vegetativo da cultura (R3), onde as plantas se encontram com maior índice de área foliar, comportando-se como uma barreira para a deposição na parte inferior.

Tabela 4 – Médias da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na cultura da soja promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas

Tratamentos	Deposição na parte superior <sup>1,2</sup>	Deposição na parte inferior <sup>1,3</sup>
RPA - COAP 9001	3,693 a	0,747 a
RPA - AIRMIX 11001	3,180 ab	0,788 a
RPA - XR 11001	1,728 c	0,394 ab
TERRESTRE - XR 110015	2,061 bc	0,264 b
Pressupostos	<b><math>W = 0,97</math>; <math>L = 1,36</math>; <math>DW = 1,84</math></b>	<b><math>W = 0,96</math>; <math>L = 0,21</math>; <math>DW = 2,18</math></b>

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância;  $W$ ,  $L$  e  $DW$ : estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>2</sup> Transformação raiz quadrada; <sup>3</sup> Transformação logarítmica; RPA: aeronave remotamente pilotada. Fonte: A autora, 2023.

A aplicação com a aeronave remotamente pilotada (RPA) apresentou melhor desempenho, na parte superior, com as pontas jato cônico vazio COAP 9001 e jato plano com indução de ar AirMix 11001 com 3,693 e 3,180  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , respectivamente. A ponta cônica produz em seu jato uma trajetória tangencial das gotas, que pode favorecer a penetração na cultura por abrir espaços horizontais entre as folhas. A ponta jato plano com indução de ar pode ter se destacado na deposição em função do menor potencial de deriva (Zhu *et al.*, 2004). Em função dessas características, essas pontas também se destacaram na parte inferior da cultura. Ainda, os autores descrevem que pontas de indução de ar proporcionam maior número de gotas



maiores que podem atingir mais facilmente a parte inferior da cultura quando comparado as pontas de jato plano padrão.

Assim como neste trabalho, Pergher e Zucchiatti (2018), avaliando a deposição em dossel de videira (*Vitis vinifera* L.) com aplicação via pulverizador terrestre de túnel observaram que a ponta de jato plano com indução de ar AVI 8002 (Albuz<sup>®</sup>, Evreux, França) não melhorou estatisticamente a deposição em relação a ponta jato cônico vazio Abbà 1035.015 *green* (Abbà<sup>®</sup>, Centallo, Itália), com média de 0,703 e 0,709  $\mu\text{L cm}^{-2}$ . Alheidary (2019) estudando diferentes tipos de ponta observou que a melhor deposição ocorreu com a ponta de jato cônico vazio quando comparado a outros tipos de ponta (jato plano, jato plano com indução de ar) nas mesmas condições de operação para aplicação terrestre, via pulverizador costal. Wang *et al.* (2023b) verificaram de forma geral, no que se refere ao aumento da deposição, que as pontas de indução de ar apresentaram melhor desempenho que as pontas de jato plano padrão para aplicação com o pulverizador de barra. E que esse aumento da deposição está relacionado ao seu maior potencial de redução de deriva, como já comentado anteriormente.

Em relação à parte inferior da cultura observa-se maiores valores de deposição para as aplicações com RPA, caracterizando uma melhor penetração da calda no dossel da cultura, o que pode ser explicado pelo efeito *downwash*. Esse efeito se dá em função do fluxo de ar descendente, que acontece no momento da aplicação, promovido pelos rotores, e pode formar um forte campo de fluxo de ar para as plantas, o que poderá favorecer melhor deposição na cultura (Yang; Zheng; Liu, 2019), funcionando como impulsionador das gotas. Zhan *et al.* (2022) investigaram a influência do *downwash* de RPAs e constataram que a força do fluxo de ar está positivamente correlacionada com a deposição e penetração da pulverização. Nesse sentido, Lan *et al.* (2021) notaram que a deposição média diminuiu quando a altura de voo aumentou, em função do enfraquecimento do efeito *downwash* na direção Z, resultando na diminuição da deposição de gotas na área efetiva de pulverização.

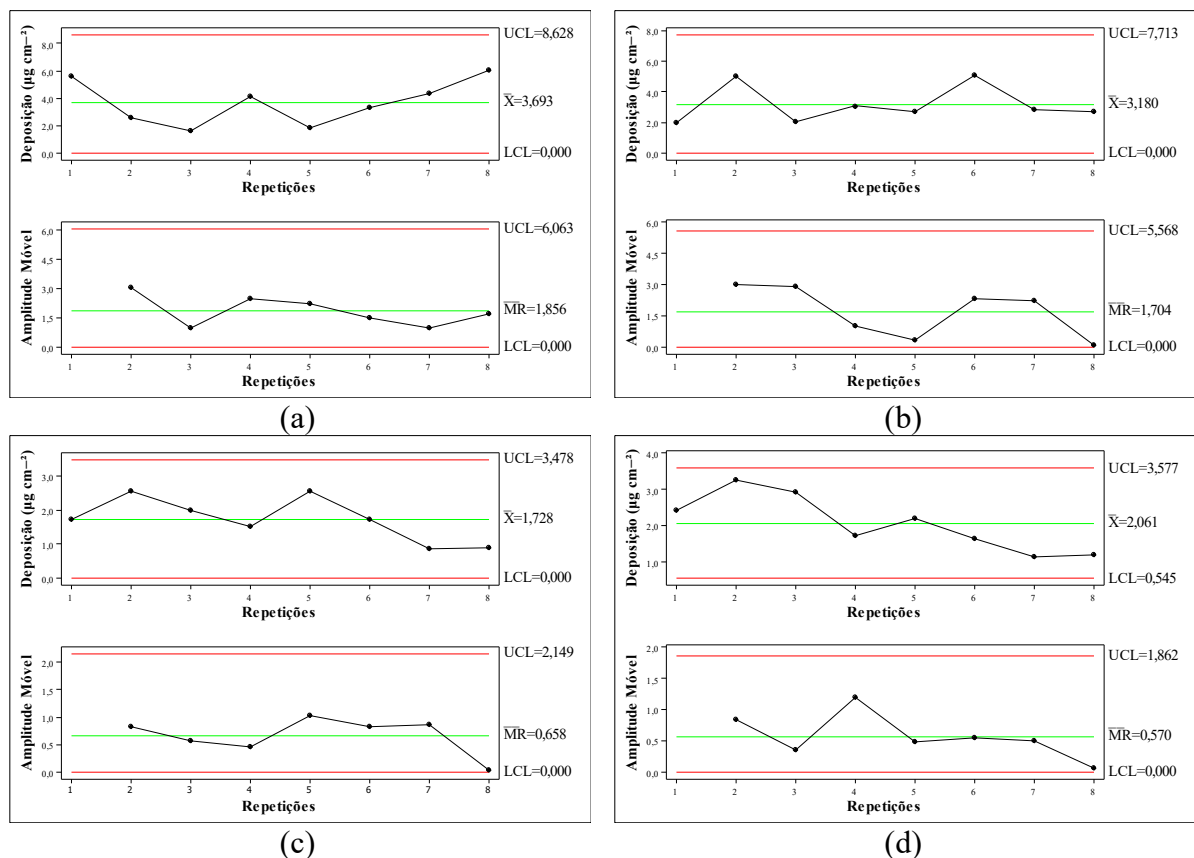
Wang *et al.* (2019), avaliando a aplicação com diferentes taxas, perceberam que o volume excessivo ( $450 \text{ L ha}^{-1}$ ) diminuiu a deposição em espigas de trigo (*Triticum aestivum*) na aplicação terrestre, mais de 38% da calda foi perdida para o solo. Quando a aplicação foi feita com RPA, as perdas para o solo variaram entre 5,0% e 12,6%, onde as taxas de aplicação foram de 9, 16,8 e  $28,1 \text{ L ha}^{-1}$ . Xiao *et al.* (2020) observaram maior deposição obtida com a RPA com  $1,01 \mu\text{g cm}^{-2}$ , 98% a mais que o pulverizador costal elétrico.

O resultado encontrado nesta pesquisa demonstra que é possível reduzir a taxa de aplicação, sem diminuir a deposição da calda. Ao se utilizar a RPA, a taxa de aplicação foi de

10 L ha<sup>-1</sup>, e para a terrestre foi 100 L ha<sup>-1</sup>. Segundo Machado *et al.* (2019), reduzir a taxa de aplicação traz vantagens, como a redução de custos, otimizando assim o processo.

Para a detecção e identificação de problemas em processos podem ser utilizados gráficos de controle, sendo importante para o aumento da qualidade e melhoria dos procedimentos e técnicas (Mammadova; Özkale, 2021). Quando estão presentes apenas causas comuns de variação, o processo está estatisticamente sob controle. Quando isto não ocorre, o processo está fora de controle e as causas atribuíveis de variação devem ser estudadas e solucionadas afim de melhorar o processo (Rakitzis *et al.*, 2019). Alcançar a estabilidade, ou seja, quando está sob controle, é um elemento chave para satisfazer as expectativas do que se espera como resposta ao processo (Özdemir, 2021). Nas Figuras 7 e 8 são mostrados os gráficos de controle para a deposição nas partes superior e inferior da cultura, respectivamente, a partir dos valores obtidos para cada tratamento.

Figura 7 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte superior da cultura da soja

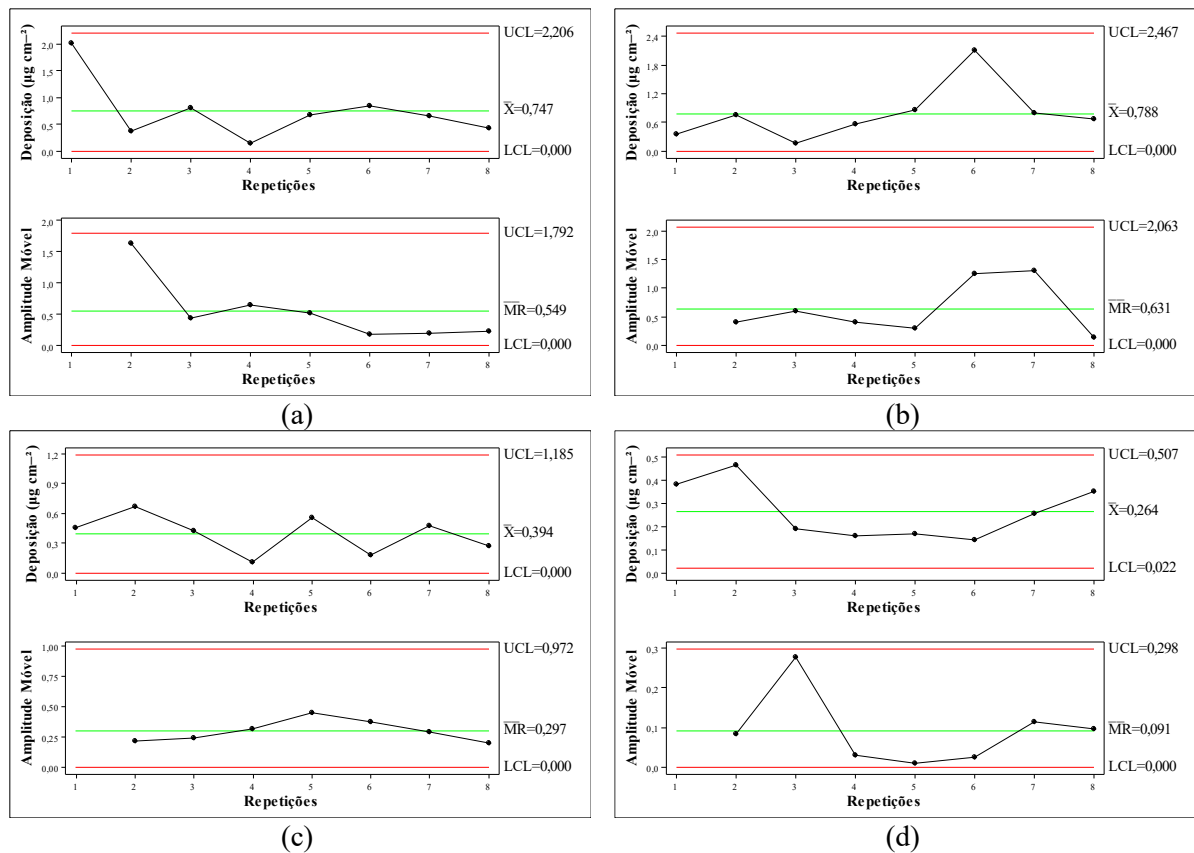


(a) RPA - COAP 9001; (b) RPA - AirMix 11001; (c) RPA - XR 11001; (d) TERRESTRE - XR 110015.

UCL: limite superior,  $\bar{X}$ : média do tratamento, LCL: limite inferior,  $\overline{MR}$ : médias móveis.

Fonte: A autora, 2023.

Figura 8 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte inferior da cultura da soja



(a) RPA - COAP 9001; (b) RPA - AirMix 11001; (c) RPA - XR 11001; (d) TERRESTRE - XR 110015.

UCL: limite superior,  $\bar{X}$ : média do tratamento, LCL: limite inferior,  $\overline{MR}$ : médias móveis.

Fonte: A autora, 2023.

Independentemente do tipo de ponta ou técnica de aplicação utilizado, não foram observados padrões de não aleatoriedade, pois os valores de deposição das repetições estão dentro dos limites superior e inferior de controle, o que se traduz em causas comuns de aleatoriedade de variação em relação ao valor médio do processo. Salientando que a deposição no alvo deve ser com qualidade para garantir que os investimentos da aplicação sejam convertidos em controle da praga ou doença, maximizando a produção da cultura.

A aplicação na parte superior da soja com a ponta de jato cônico vazio COAP 9001 (Figura 7a) foi a que apresentou maior amplitude dos dados de deposição. Na repetição 8, o valor foi de  $6,057 \mu\text{g cm}^{-2}$ , e na repetição 3, o valor de deposição foi de  $1,604 \mu\text{g cm}^{-2}$ , mostrando uma diferença de  $4,453 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Mesmo com essa amplitude, os valores se mantiveram dentro dos limites superior ( $8,628 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) e inferior ( $0,000 \mu\text{g cm}^{-2}$ ). A aplicação feita com a ponta jato plano XR 11001 via RPA (Figura 7c) apresentou menor variação, os valores estiveram entre  $0,853$  e  $2,560 \mu\text{g cm}^{-2}$ , e também menor valor da média de deposição,

com  $1,728 \mu\text{g cm}^{-2}$ , revelando maior estabilidade, porém proporcionando menor deposição média no alvo, apesar de estar sob controle estatístico.

Na parte inferior da cultura, a maior variação entre os tratamentos foi caracterizada pela aplicação com a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 via RPA (Figura 8b), onde a deposição variou entre  $2,118$  e  $0,116 \mu\text{g cm}^{-2}$ . E essa mesma ponta apresentou o maior valor médio de deposição com  $0,788 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Não sendo, portanto, a ponta com maior uniformidade de deposição, mas foi a que apresentou a maior média.

É importante observar que por mais que o processo esteja sob controle, deve-se atentar aos valores encontrados, pois eles também irão mostrar a qualidade da aplicação revelando a quantidade de produto que está chegando até o alvo, e essa porção deve ser o suficiente para oferecer eficácia biológica adequada. Ou seja, espera-se que a aplicação esteja sendo distribuída uniformemente e na quantidade necessária para o controle. Assim como neste trabalho, Nascimento *et al.* (2022a) verificaram que independentemente dos tipos de pontas avaliadas, houve maior deposição na parte superior da soja, que se encontrava no estágio fenológico R4.

Na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, pesquisas utilizando o controle estatístico de processos ainda são escassos. Silva *et al.* (2016) estudando a pulverização hidropneumática na cultura do café (*Coffea arabica* L.), utilizando diferentes pontas e taxas de aplicação, também observaram que a deposição se apresentou sob controle estatístico de processos, como o encontrado nesta pesquisa. Soela *et al.* (2020) fizeram um estudo utilizando o controle estatístico de processo para avaliar a pulverização usando a RPA na cultura do café Conilon (*Coffea canephora* L.). Nesse trabalho não se detectaram padrões de não aleatoriedade dentro dos tratamentos (altura de voo e genótipos de cafeeiro), ocasionando uma boa qualidade das aplicações realizadas na cultura. Foram observados maiores resultados de deposição nos terços superior e inferior para à altura de voo de  $1,0$  m e o genótipo A1.

### 3.2 Espectro de gotas

Os valores referentes ao espectro de gotas podem ser visualizados na Tabela 5. A cobertura, tanto na parte superior como na parte inferior da cultura, foi maior para a aplicação terrestre com a ponta jato plano XR 110015, com  $5,00\%$  de média e  $0,40\%$  de mediana. As aplicações realizadas com a RPA não se diferenciaram estatisticamente. Portanto, aumentar o volume de aplicação pode melhorar significativamente a cobertura. Martin *et al.* (2020) também observaram maior cobertura utilizando o pulverizador terrestre, onde a taxa de aplicação foi de

140 L ha<sup>-1</sup>, quando comparado a aplicação com RPA, com taxas de aplicação de 18,7 e 37,4 L ha<sup>-1</sup>. Isso mostra que o volume de calda aplicado tem um impacto relevante na cobertura.

Tabela 5 – Espectro de gotas obtidos nas partes superior e inferior da cultura da soja promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas

Tratamentos	Superior				
	Cobertura <sup>1,3</sup> (%)	Densidade <sup>1,4</sup> (gotas cm <sup>-2</sup> )	DMV <sup>1,4</sup> (µm)	AR <sup>1</sup>	% < 100 µm <sup>1,3</sup>
RPA - COAP 9001	0,22 b	8,18 b	166,35 c	0,90 ab	18,28 a
RPA - AIRMIX 11001	0,39 b	4,90 b	270,97 ab	0,64 b	3,04 b
RPA - XR 11001	0,48 b	12,20 b	178,18 bc	1,04 ab	8,58 a
TERRESTRE - XR 110015	5,00 a	47,48 a	301,40 a	1,09 a	1,77 b
Pressupostos	<b>W = 0,94;</b> <b>L = 0,48;</b> <b>DW = 2,55</b>	<b>W = 0,98;</b> <b>L = 2,77;</b> <b>DW = 2,51</b>	<b>W = 0,97;</b> <b>L = 1,03;</b> <b>DW = 2,48</b>	<b>W = 0,95;</b> <b>L = 1,84;</b> <b>DW = 2,35</b>	<b>W = 0,98;</b> <b>L = 2,58;</b> <b>DW = 2,61</b>
Tratamentos	Inferior				
	Cobertura <sup>2</sup> (%)	Densidade <sup>1,4</sup> (gotas cm <sup>-2</sup> )	DMV <sup>1</sup> (µm)	AR <sup>1</sup>	% < 100 µm <sup>2</sup>
RPA - COAP 9001	0,07 b	2,62 ab	232,57 a	0,58 a	8,30 ab
RPA - AIRMIX 11001	0,09 b	1,15 b	271,99 a	0,37 a	2,76 bc
RPA - XR 11001	0,09 b	4,06 ab	210,81 a	0,68 a	10,88 a
TERRESTRE - XR 110015	0,40 a	5,35 a	354,62 a	0,77 a	1,28 c
Pressupostos	<b>W = 0,48;</b> <b>L = 1,21;</b> <b>DW = 2,39</b>	<b>W = 0,99;</b> <b>L = 0,84;</b> <b>DW = 2,53</b>	<b>W = 0,94;</b> <b>L = 2,31;</b> <b>DW = 2,12</b>	<b>W = 0,97;</b> <b>L = 1,03;</b> <b>DW = 2,48</b>	<b>W = 0,54;</b> <b>L = 0,37;</b> <b>DW = 2,30</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; <sup>2</sup> Medianas seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 0,05 de significância; W, L e DW: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>3</sup> Transformação logarítmica; <sup>4</sup> Transformação raiz quadrada; DMV: diâmetro da mediana volumétrica; AR: amplitude relativa; RPA: aeronave remotamente pilotada. Fonte: A autora, 2023.

Ribeiro *et al.* (2023), avaliando o espectro de gotas para aplicação via RPA na cultura do mamão (*Carica papaya* L.) utilizando diferentes pontas (jato plano XR 110015 e jato cônico vazio MGA015) tiveram como resultado que a melhor cobertura nos terços superior e médio foi proporcionada pela ponta XR 110015, independente do volume de calda aplicado.

Revelando o bom desempenho dessa ponta em relação a cobertura, como o encontrado neste trabalho.

Qi *et al.* (2023) encontraram valores de cobertura abaixo de 3,00%, variando entre 0,66% a 2,67%, para a aplicação com RPA em pomar de peras (*Pyrus* spp.), para diferentes taxas de aplicação (60, 75 e 90 L ha<sup>-1</sup>), alturas de voo (4,5; 5,0 e 5,5 m), velocidade de deslocamento (1,5; 2,0 e 2,5 m s<sup>-1</sup>) e direção de voo (paralela e transversal à linha de plantio). Cunha *et al.* (2021) relatam a dificuldade na obtenção de uma boa cobertura do alvo para as aplicações via RPA. Maior cobertura tem como consequência maior facilidade em alcançar o alvo. No entanto, se o alvo for atingido, uma aplicação com baixo volume apresenta eficiência fitossanitária, visto que a calda está com o produto mais concentrado. Para medir a efeito da cobertura com maior precisão seria interessante avaliar a eficácia no controle da doença ou praga, podendo assim encontrar o índice de cobertura condizente para baixos volumes.

Corroborando com os dados de cobertura, a densidade de gotas na parte superior da soja foi maior para a aplicação terrestre com a ponta de jato plano XR 110015, com 47,48 gotas cm<sup>-2</sup>, mais que o triplo das demais aplicações. Quando observado à parte inferior, tem-se menor densidade de gotas por área alvo, quando comparado à superior, e que as pontas COAP 9001 e XR 11001 apresentaram, estatisticamente, o mesmo desempenho da ponta XR 110015. Este resultado foi consistente com o encontrado na pesquisa de Xiao *et al.* (2020), onde os valores de densidade de gotas também apresentaram redução nas partes inferiores de pimenteiras (*Capsicum annuum* L.), com 34,91 gotas cm<sup>-2</sup> no terço superior, 23,03 gotas cm<sup>-2</sup> no terço médio e 15,06 gotas cm<sup>-2</sup> no terço inferior para aplicação via RPA e taxa de aplicação de 15 L ha<sup>-1</sup>. Sun *et al.* (2022) também observaram o mesmo, a densidade de gotas nas camadas superior e inferior apresentou uma tendência decrescente.

Os dados de cobertura e densidade de gotas devem ser vistos com cautela, conforme descrito por Cunha e Silva (2023), em função dos dados serem obtidos por meio do papel sensível à água, no qual apresenta uma propensão em supervalorizar as aplicações com maior taxa de aplicação, como a aplicação terrestre, em comparação com os menores, como a aplicação via RPA, onde não é considerado a concentração da calda.

O que caracteriza o tamanho das gotas pulverizadas na aplicação é o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), e na parte superior da cultura variou de acordo com as pontas usadas na aplicação. A ponta de jato plano XR 110015, utilizada para a aplicação com o pulverizador terrestre, apresenta como característica, gotas finas, conforme catálogo do fabricante, onde a classificação é baseada nas especificações do BCPC e de acordo com a norma

ASABE S572.1 (ASABE, 2009). Porém, foi encontrado um DMV variando entre 301,40 e 354,62  $\mu\text{m}$ , nas partes superior e inferior, respectivamente. Esses diâmetros estão nas categorias média e grossa (ASABE, 2009). As avaliações de tamanho de gotas em um ambiente controlado com análises de medição direta, podem se diferir das encontradas em campo, realizadas de forma indireta. Nascimento *et al.* (2022b) observaram uma superestimação para o DMV das gotas depositadas no papel hidrossensível quando comparado ao DMV obtido de forma direta.

A ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 não se diferiu significativamente da ponta XR 110015, apresentou DMV de 270,97 e 271,99  $\mu\text{m}$ , nas partes superior e inferior, respectivamente, produzindo gotas de tamanho médio. A ponta de jato plano XR 11001 apresentou o DMV de 178,18  $\mu\text{m}$  na parte superior e 210,81  $\mu\text{m}$  na parte inferior, portanto, classe de gotas finas. Grant *et al.* (2022) e Wang *et al.* (2020a) também observaram gotas de classe fina, 126,70 e 122,60  $\mu\text{m}$ , respectivamente, para esse mesmo modelo de ponta. A ponta de jato cônico vazio COAP 9001 apresentou gotas de classe fina com DMV de 166,35  $\mu\text{m}$  na parte superior e 232,57  $\mu\text{m}$  na parte inferior.

É possível visualizar um acréscimo nos valores de DMV na parte inferior da cultura para todas as pontas, quando comparado à parte superior, mostrando que gotas de tamanho maior conseguiram atingir o interior do dossel mais facilmente. Essa tendência também foi observada por Dengeru *et al.* (2022), que realizaram a aplicação de inseticida via RPA na cultura do guandu (*Cajanus cajan* L. Millsp).

Quando se retrata a pulverização terrestre, gotas de tamanhos menores podem apresentar melhor penetração do que gotas maiores em função das gotas de tamanho maior cair mais rapidamente sob a ação da gravidade. Elas atingirão a superfície da cultura de forma mais rápida e serão facilmente depositadas na parte superior. A não ser que haja escorrimento e essas gotas maiores se desloquem para o interior do dossel. Porém, quando a aplicação é feita via RPA, o *downwash* gerado pode acelerar a velocidade de deposição das gotas e, ao mesmo tempo, fazer com que as folhas se movimentem, em função da influência do fluxo de ar, de modo que um maior número de gotas maiores que apresentam uma velocidade de queda mais rápida atinja as partes inferiores da cultura, dentro do campo de ação da corrente de ar do rotor (Chen *et al.*, 2017, 2020; Ferguson *et al.*, 2016; Fritz; Hoffmann; Lan, 2009). Nessa camada inferior também é possível observar que não houve diferença significativa entre as pontas, o que pode indicar que elas apresentaram a mesma característica de tamanho de gotas no interior do dossel da cultura.

A amplitude relativa (AR) é um índice que mostra a homogeneidade no tamanho de gotas. Valores mais próximos de zero se referem ao espectro mais homogêneo. À parte superior da cultura apresentou diferença significativa com valores variando entre 0,64 a 1,09. As pontas utilizadas na aplicação com RPA não diferiram estatisticamente entre si. Na parte inferior não houve diferença significativa entre os tratamentos, com valores entre 0,37 a 0,77. Wang *et al.* (2022) encontraram resultados de AR variando de 1,29 a 1,42 para diferentes pressões de trabalho em aplicações via RPA em macieira (*Malus domestica* (Borkh.)). Griesang *et al.* (2022) avaliando pontas de jato plano e diferentes taxas de aplicação (75 e 150 L ha<sup>-1</sup>), observaram valores de amplitude relativa variando entre 1,18 a 1,57, e segundo os autores, essa variação estava de acordo com o que foi apontado no início dos estudos, de que diferentes qualidades de espectro de gotas são produzidas em aplicações de campo. Önler *et al.* (2023) descrevem que gotas com tamanhos mais próximos tendem a se comportar de maneira análoga e seguir trajetórias semelhantes. Quando existe uma grande dispersão no espectro de gotas, elas tendem a agrupar-se em zonas, variando a trajetória para os diferentes tamanhos.

Independente da parte da planta avaliada, as pontas de jato plano XR 110015 e AirMix 11001 apresentaram menor potencial de deriva em função das menores porcentagens de gotas menores de 100 µm, mais propensas à deriva. A ponta XR 110015 foi utilizada na aplicação terrestre com o pulverizador costal, e esse tipo de pulverizador favorece maior risco de contato do operador aos produtos fitossanitários. Em contrapartida, o método aéreo via RPA pulveriza sem necessidade de o operador entrar na cultura, removendo o risco de exposição do aplicador (Wang *et al.*, 2020b). A partir dos resultados obtidos na pesquisa, o uso da ponta AirMix 11001 deve ser destacado quando avaliado o potencial de deriva. Wang *et al.* (2023b) observaram que pontas com indução de ar reduzem significativamente a quantidade de deriva, quando comparado a pontas de jato plano convencionais, o que é de grande relevância para a proteção do meio ambiente. A menor produção de gotas finas ocorre porque a calda pulverizada é misturada com o ar que entra pelos orifícios da ponta afim de produzir gotas com bolhas de ar, resultando em um tamanho de gota maior.

Em relação à deriva, as gotas menores tendem a perder sua energia cinética após sua liberação, potencializando o estado de suspensão no ar, onde são mais facilmente direcionadas para fora do alvo pela corrente de ar (Ahmad *et al.*, 2020). Liu *et al.* (2021) corroboram descrevendo que a velocidade das gotas mais finas decai mais rapidamente até sua velocidade final em uma distância muito curta em comparação às gotas mais grossas, conseqüentemente seu tempo de permanência no ar é diferente e afeta a deriva da pulverização. Além disso, em



condições ambientais extremamente estáveis, as inversões de temperatura nas quais o ar frio está mais próximo do solo ou da superfície da cultura do que o ar mais acima, pode retardar a queda de gotas, fazendo com que as mesmas fiquem mais suscetíveis à deriva (Hunter *et al.*, 2019).

## 4 CONCLUSÕES

Na parte superior da cultura da soja, a maior deposição de calda nas aplicações com a RPA foi obtida com as pontas de jato plano com indução de ar AirMix 11001 e jato cônico vazio COAP 9001, sendo que com essa última a deposição foi superior inclusive à obtida com a aplicação terrestre. Na parte inferior, a deposição com a RPA se destacou, mostrando maior penetração da calda no dossel da cultura em relação à aplicação terrestre. A partir dos gráficos de controle de processo da deposição de calda para as diferentes condições operacionais, não foi observado comportamento de não aleatoriedade, mostrando bom padrão de qualidade sob o ponto de vista estatístico.

A cobertura nas partes superior e inferior da cultura e a densidade de gotas na parte superior foram maiores para a aplicação terrestre com a ponta jato plano XR 110015, onde a taxa de aplicação foi maior. Com a RPA, a cobertura foi inferior a 1%, o que deve ser considerado no momento do planejamento das aplicações.

Nas aplicações com a RPA, a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 se destacou com a menor porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , diminuindo o potencial de deriva.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, F.; QIU, B.; DONG, X.; MA, J.; HUANG, X.; AHMED, S.; CHANDIO, F. A. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, p. 105350, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105350>
- AHMED, S.; QIU, B.; AHMAD, F.; KONG, C. W.; XIN, H. A state-of-the-art analysis of obstacle avoidance methods from the perspective of an agricultural sprayer UAV's operation scenario. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1069, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061069>
- ALHEIDARY, M. H. R. Influence of nozzle type, working pressure, and their interaction on droplets quality using knapsack sprayer. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 50, n. 3, p. 857-866, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v50i3.702>
- ASABE. **ASABE S572. 1 Droplet size classification**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3 ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 247 p.
- BIGLIA, A.; GRELLA, M.; BLOISE, N.; COMBA, L.; MOZZANINI, E.; SOPEGNO, A.; PITTARELLO, M.; DICEMBRINI, E.; ELOI, A. L.; GUGLIERI, G.; BALSARI, P.; RICAUDA, A. D.; GAY, P. UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses. **Science of the Total Environment**, v. 845, p. 157292, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157292>
- BRANDOLI, B.; SPADON, G.; ESAU, T.; HENNESSY, P.; CARVALHO, A.C.P.L.; AMER-YAHIA, S.; RODRIGUES-JR, J.F. DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 180, p. 105906, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105906>
- CERRUTO, E.; MANETTO, G.; PAPA, R.; LONGO, D. Modelling spray pressure effects on droplet size distribution from agricultural nozzles. **Applied Sciences**, v. 11, n. 19, p. 9283, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11199283>
- CHEN, P.; OUYANG, F.; WANG, G.; QI, H.; XU, W.; YANG, Y.; ZHANG, Y.; LAN, Y. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113324, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113324>
- CHEN, S.; LAN, Y.; ZHOU, Z.; OUYANG, F.; WANG, G.; HUANG, X.; DENG, X.; CHENG, S. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 195, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020195>

CHEN, S.; LAN, Y.; BRADLEY, K. F.; LI, J.; LIU, A.; MAO, Y. Effect of wind field below rotor on distribution of aerial spraying droplet deposition by using multi-rotor UAV. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 48, n. 8, p. 105-113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.011>

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **A pulverização com drones faz do céu a próxima fronteira agrícola para o agro**. 2022. Disponível online: <https://cnabrazil.org.br/cna>. Acesso em 03 de abril de 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos safra 2023/2024**. Brasília: Conab, v. 11, n. 5, p. 90-109, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em 05 de mar. 2024.

CUNHA, J. P. A. R. da; ALVARENGA, C. B. de; RINALDI, P. C. N.; MARQUES, M. G.; ZAMPIROLI, R. Use of remotely piloted aircrafts for the application of plant protection products. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 2, p. 245-254, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n2p245-254/2021>

CUNHA, J. P. A. R. da; MARQUES, R. S.; ALVES, G. S. Deposição da calda na cultura da soja em função de diferentes pressões de trabalho e pontas de pulverização. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 761-768, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663060003>

CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217862, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>

DAFSARI, R. A.; YU, S.; CHOI, Y.; LEE, J. Effect of geometrical parameters of air-induction nozzles on droplet characteristics and behaviour. **Biosystems Engineering**, v. 209, p. 14-29, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.06.013>

DENGERU, Y.; RAMASAMY, K.; ALLIMUTHU, S.; BALAKRISHNAN, S.; KUMAR, A. P. M.; KANNAN, B.; KARUPPASAMI, K. M. Study on spray deposition and drift characteristics of UAV agricultural sprayer for application of insecticide in redgram crop (*Cajanus cajan* L. Millsp.). **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3196, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123196>

DJI. **AGRAS MG-1P User Manual**. V. 1.0, 2018. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/mg\\_1p/20181108/MG-1P\\_Series\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN\\_.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/mg_1p/20181108/MG-1P_Series_User_Manual_v1.0_EN_.pdf). Acesso em 19 de abril de 2023.

DORUCHOWSKI, G.; SWIECHOWSKI, W.; MASNY, S.; MACIESIAK, A.; TARTANUS, M.; BRYK, H.; HOŁOWNICKI, R. Low-drift nozzles vs. standard nozzles for pesticide application in the biological efficacy trials of pesticides in apple pest and disease control. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1239-1246, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.200>

FANG, C.; KONG, F. Soybean. **Current Biology**, v. 32, n. 17, p. R902-R904, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.06.054>

FERGUSON, C. J.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v. 81, p. 14-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.013>

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; LAN, Y. B. Evaluation of the EPA drift reduction technology (DRT) low-speed wind tunnel protocol. **Journal of ASTM International**, v. 6, n. 4, p. 1-11, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1520/JAI102129>

GARRETT, R. D.; GRABS, J.; CAMMELLI, F.; GOLLNOW, F.; LEVY, S. A. Should payments for environmental services be used to implement zero-deforestation supply chain policies? The case of soy in the Brazilian Cerrado. **World Development**, v. 152, p. 105814, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105814>

GRANT, S.; PERINE, J.; ABI-AKAR, LANE, T.; KENT, B.; MOHLER, C.; SCOTT, C.; RITTER, A. A Wind-tunnel assessment of parameters that may impact spray drift during UAV pesticide application. **Drones**, v. 6, n. 8, p. 204, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6080204>

GRIESANG, F.; FERREIRA, M. da C.; SPADONI, A. B. D.; VECCHIA, J. F. D.; SANTOS, R. T. da S.; SANTOS, C. A. M. dos. How do the droplet spectrum uniformity and spray volume of flat-fan nozzles influence fungicide spray distribution quality in soybeans?. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 2, p. e20210122, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n2e20210122/2022>

GUGAN, G.; HAQUE, A. Path planning for autonomous drones: challenges and future directions. **Drones**, v. 7, n. 3, p. 169, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7030169>

HOFFMANN, L. L.; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A. Fungicide spraying programs reducing asian soybean rust impact on soybean yield components. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 3, p. 40-50, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v14n3p40>

HUNTER, J. E.; GANNON, T. W.; RICHARDSON, R. J.; YELVERTON, F. H.; LEON, R. G. Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. **Weed Technology**, v. 34, n. 2, p. 235-240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>

KOOIJ, S.; SIJS, R.; DENN, M. M.; VILLERMAUX, E.; BONN, D. What determines the drop size in sprays?. **Physical Review X**, v. 8, n. 3, p. 031019, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.031019>

LAN, Y.; QIAN, S.; CHEN, S.; ZHAO, Y.; DENG, X.; WANG, G.; ZANG, Y.; WANG, J.; QIU, X. Influence of the downwash wind field of plant protection UAV on droplet deposition distribution characteristics at different flight heights. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2399, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11122399>

LI, H.; NIU, X.; DING, L.; TAHIR, A. S.; GUO, C.; CHAI, J.; ZHANG, K.; CHENG, S.; ZHAO, Y.; ZHANG, Y.; XU, Y.; SHANG, Z. Dynamic spreading characteristics of droplet

impinging soybean leaves. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 3, p. 32-45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6274>

LIU, Q.; CHEN, S.; WANG, G.; LAN, Y. Drift evaluation of a quadrotor unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of liquid pressure and wind speed on drift potential based on wind tunnel test. **Applied Sciences**, v. 11, n. 16, p. 7258, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167258>

MACHADO, W. A.; SILVA, S. M.; CARVALHO, S. M.; CUNHA, J. P. A. R. da. Effect of nozzles, application rates, and adjuvants on spray deposition in wheat crops. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 83-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p83-88/2019>

MAMMADOVA, U.; ÖZKALE, M. R. Profile monitoring for count data using Poisson and Conway–Maxwell–Poisson regression-based control charts under multicollinearity problem. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 388, p. 113275, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113275>

MARTIN, D. E.; RODRIGUEZ, R.; WOLLER, D. A.; REUTER, K. C.; BLACK, L. R.; LATHEFF, M. A.; TAYLOR, M.; COLÓN, K. M. L. Insecticidal management of rangeland grasshoppers using a remotely piloted aerial application system. **Drones**, v. 6, n. 9, p. 239, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6090239>

MARTIN, D.; SINGH, V.; LATHEEF, M. A.; BAGAVATHIANNAN, M. Spray deposition on weeds (Palmer amaranth and Morningglory) from a remotely piloted aerial application system and backpack sprayer. **Drones**, v. 4, n. 3, p. 59, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030059>

MENG, Y.; LAN, Y.; MEI, G.; GUO, Y.; SONG, J.; WANG, Z. Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle for wheat aphids control. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, n. 5, p. 46-53, 2018. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.4298>

MINITAB Inc. MINITAB®. Version 16.2, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 555 p.

MORAIS, A. R. de. **Estatística Experimental: uma introdução aos delineamentos e análise de experimento**. Lavras: Ed. UFLA, 2001. 197 p.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista De Geografia Da UEG**, v. 9, n. 2, p. 922021, 2020.

NASCIMENTO, R. S. M.; FERREIRA, L. R.; ZAMBOLIM, L.; PARREIRA, D. F.; OLIVEIRA, P. L. de S.; MORAES, R. G. S. Influence of spraying tips on the efficiency of

chemical control of soybean rust. **Crop Protection**, v. 160, p. 106031, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106031>

NASCIMENTO, R. S. M., PARREIRA, D. F., MILAGRES, J. S., AFONSO, D. F., DE SOUSA OLIVEIRA, P. L., MORAES, R. G. S. Coverage of corn plants using different hydraulic nozzles and application volume rates. **Journal of Plant Protection Research**, v. 62, n. 2, 198-206, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.24425/jppr.2022.141356>

NEGRISOLI, M. M.; SOUZA, D. M. de; RODRIGUES, D. M.; JESUS, P. J. de; RAETANO, C. G. Effect of angled spray nozzle designs on spray distribution and droplet spectrum. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 52, n. 3, p. e20197043, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210029>

OLIVEIRA, T. C. T. de; SILVA, A. C. G. C.; SANTOS, P.V. S. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: estudo aplicado em fabricante de chapas de gesso *Drywall*. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 1, p. 59-66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.25286/rep.v7i1.2191>

ÖNLER, E.; ÖZYURT, H. B.; ŞENER, M.; ARAT, S.; EKER, B.; ÇELEN, I. H. Spray Characterization of an Unmanned Aerial Vehicle for Agricultural Spraying. **The Philippine Agricultural Scientist**, v. 106, n. 1, p. 39-46, 2023.

ÖZDEMİR, A. Development of fuzzy  $\bar{X} - S$  control charts with unbalanced fuzzy data. **Soft Computing**, v. 25, p. 4015-4025, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05430-5>

PENG, D.; JIANG, R.; PENG, H.; LIU, S. Soybean cyst nematodes: a destructive threat to soybean production in China. **Phytopathology Research**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42483-021-00095-w>

PERGHER, G.; ZUCCHIATTI, N. Influence of canopy development in the vineyard on spray deposition from a tunnel sprayer. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 49, n. 3, p. 164-173, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2018.801>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Ed. Nobel, 2000. 467 p.

PIONEER. **Guia soja**. 2021. Disponível em: <https://www.pioneer.com/content/dam/dpagco/pioneer/la/br/pt/files/Soja-96Y90-13.pdf>. Acesso em 17 de abril de 2023.

QI, P.; ZHANG, L.; WANG, Z.; HAN, H.; MÜLLER, J.; LI, T.; WANG, C.; HUANG, Z.; HE, M.; LIU, Y.; HE, X. Effect of operational parameters of unmanned aerial vehicle (UAV) on droplet deposition in trellised pear orchard. **Drones**, v. 7, n. 1, p. 57, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7010057>

R CORE TEAM. **The R Foundation for Statistical Computing Platform**. R Version, v. 4, 2020.

- RAKITZIS, A. C.; CHAKRABORTI, S.; SHONGWE, S. C.; GRAHAM, M. A.; KHOO, M. B. C. An overview of synthetic-type control charts: Techniques and methodology. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 35, n. 7, p. 2081-2096, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.2491>
- RIBEIRO, L. F. O.; VITÓRIA, E. L. da; SOPRANI JÚNIOR, G. G.; CHEN, P.; LAN, Y. Impact of operational parameters on droplet distribution using an unmanned aerial vehicle in a papaya orchard. **Agronomy**, v. 13, n. 4, p. 1138, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13041138>
- RODRIGUES, E. de A. S.; LIMA, S. do C. Associação entre a incidência do levantamento de índice rápido de *Aedes aegypti* (Liraa) e as condições climáticas em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, entre 2014 a 2016. **Caminhos de Geografia**, v.20, n.72, p. 251-263, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG207245265>
- RUSSO, G.; ALENCAR, A.; RIBEIRO, V.; AMORIM, C.; SHIMBO, J.; LENTI, F.; CASTRO, I. Cerrado: The Brazilian savanna's contribution to GHG emissions and to climate solutions. **IPAM Amazônia**, Policy Brief, 2018.
- SAYINCI, B.; DEMİR, B.; AÇIK, N. Comparison of spray nozzles in terms of spray coverage and drop distribution uniformity at low volume. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 44, n. 3, p. 262-270, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3906/tar-1905-112>
- SIJS, R.; KOOLJ, S; BONN, D. Droplet size from Venturi air induction spray nozzles. **Experiments in Fluids**, v. 64, n. 2, p. 1-9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00348-023-03582-2>
- SILVA, J. E. R. da; CUNHA, J. P. A. R. da; NOMELINI, Q. S. S. Controle estatístico de processo em pulverização hidropneumática na cultura do café. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 11-21, 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8168>. Acesso em 20 fev. 2023.
- SILVA, L. L.; BAPTISTA, F.; CRUZ, V. F.; SILVA, J. R. M. da. Aumentar as competências dos agricultores para a prática de uma agricultura sustentável. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 240-252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.19942>
- SINGH, A. K.; BHATT, Y. C.; DHANDE, K. G.; WANDKAR, S. V.; STANLEY, N. M. System of mathematical equations to predict wear on circular-cone orifice of pesticide spray nozzles. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 2, p. 76-80, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190202.52>
- SOELA, D. M.; VITÓRIA, E. L. da; OLIVEIRA, R. F. de; CRAUSE, D. H.; FREITAS, I. L. de J.; LOCATELLI, T. Controle estatístico de processo em pulverização usando veículo aéreo não tripulado na cultura do café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 52-63, 2020.
- SUN, T.; ZHANG, S.; XUE, X.; JIAO, Y. Comparison of droplet distribution and control effect of wheat aphids under different operation parameters of the crop protection UAV in the



wheat flowering stage. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3175, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123175>

TONG, Z.; SUN, M.; ZHOU, Z.; DONG, X.; HU, B.; DUAN, J. The fate and effect of chlorpyrifos and lambda-cyhalothrin in soybean (*Glycine max* L. Merrill) field. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 209, p. 111861, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111861>

TRIPATHI, H.; D'SOUZA, P. M. Pressure effect on different spray characteristics of hydraulic energy hollow cone nozzles suitable for agricultural spraying. **International journal of current microbiology and applied sciences**, v. 9, n. 2, p. 2761-2767, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.902.314>

USDA – United States Department of Agriculture. World Agricultural Production. Washington, D.C.: USDA, maio 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em 04 de mai. 2024.

VALLET, A.; TINET, C. Characteristics of droplets from single and twin jet air induction nozzles: A preliminary investigation. **Crop Protection**, v. 48, p. 63-68, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.02.010>

WANG, C.; HERBST, A.; ZENG, A.; WONGSUK, S.; QIAO, B.; QI, P.; BONDS, J.; OVERBECK, V.; YANG, Y.; GAO, W.; HE, X. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. **Science of the Total Environment**, v. 777, p. 146181, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>

WANG, C.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; HAN, L.; LI, Y.; ZHANG, H.; WONGSUK, S.; LI, Y.; WU, X.; HE, X. Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2449-2466, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6875>

WANG, C.; ZENG, A.; HE, X.; SONG, J.; HERBST, A.; GAO, W. Spray drift characteristics test of unmanned aerial vehicle spray unit under wind tunnel conditions. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 13, n. 3, p. 13-21, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.5716>

WANG, G.; HAN, Y.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; HOFFMANN, W. C.; HAN, X.; CHEN, S.; LAN, Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139793, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>

WANG, G.; LAN, Y.; QI, H.; CHEN, P. C.; HEWITT, A.; HAN, Y. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest management science**, v. 75, n. 6, p. 1546-1555, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5321>

WANG, S. L.; LI, X.; NUYTENS, D.; ZHANG, L.; LIU, Y.; LI, X. Evaluation of compact air-induction flat fan nozzles for herbicide applications: Spray drift and biological efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 150, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1018626>

WANG, Z.; HUSSAIN, M.; YIN, J.; YUAN, M.; MO, Y.; QUAN, M.; DUAN, L.; TAN, W. Analysis of droplet deposition and maize (*Zea mays* L.) growth control: Application of ethephon by small unmanned aerial vehicle and electric knapsack sprayer. **Field Crops Research**, v. 292, p. 108822, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108822>

WU, G.; LI, W.; DU, W.; YUE, A.; ZHAO, J.; LIU, D. *In-situ* monitoring of nitrile-bearing pesticide residues by background-free surface-enhanced Raman spectroscopy. **Chinese Chemical Letters**, v. 33, n. 1, p. 519-522, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2021.06.051>

XIAO, Q.; DU, R.; YANG, L.; HAN, X.; ZHAO, S.; ZHANG, G.; FU, W.; WANG, G.; LAN, Y. Comparison of droplet deposition control efficacy on *Phytophthora capsica* and aphids in the processing pepper field of the unmanned aerial vehicle and knapsack sprayer. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 215, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020215>

XUE, X.; LAN, Y.; SUN, Z.; CHANG, C.; HOFFMANN, W. C. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 128, p. 58-66, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.022>

XUN, L.; GIL, E. A novel methodology for water-sensitive papers analysis focusing on the segmentation of overlapping droplets to better characterize deposition pattern. **Crop Protection**, v. 176, p. 106492, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106492>

YANG, S.; ZHENG, Y.; LIU, X. Research status and trends of downwash airflow of spray UAVs in agriculture. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20190201.0023>

ZHAN, Y.; CHEN, P.; XU, W.; CHEN, S.; HAN, Y.; LAN, Y.; WANG, G. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. **Biosystems Engineering**, v. 216, p. 32-45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016>

ZHANG, H.; CHANDIO, A. A.; YANG, F.; TANG, Y.; TWUMASI, M. A.; SARGANI, G. R. Modeling the impact of climatological factors and technological revolution on soybean yield: evidence from 13-major provinces of China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 9, p. 5708, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095708>

ZHANG, R.; HEWITT, A. J.; CHEN, L.; LI, L.; TANG, Q. Challenges and opportunities of unmanned aerial vehicles as a new tool for crop pest control. **Pest Management Science**, v. 79, n. 11, p. 4123-4131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7683>

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray Penetration into Peanut Canopies with Hydraulic Nozzle Tips. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 3, p. 275-283, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.012>

## CAPÍTULO 3

Aeronave remotamente pilotada como tecnologia para pulverização agrícola na cultura do milho em região de Cerrado

## **Aeronave remotamente pilotada como tecnologia para pulverização agrícola na cultura do milho em região de Cerrado**

### **RESUMO**

Na área de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários tem surgido novas ferramentas, como o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), que ainda necessitam de mais pesquisas relacionadas ao desempenho operacional nas diferentes condições de uso. Nesse propósito, o trabalho objetivou avaliar e comparar a qualidade da aplicação com a RPA e terrestre na cultura do milho em região de Cerrado com uso de diferentes pontas de pulverização. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram os métodos de aplicação, aéreo (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) e terrestre (pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>) e as pontas de jato plano padrão XR 11001 e jato plano com indução de ar AirMix 11001. Foram avaliados a deposição, quantificada por meio de um traçador (azul brilhante) presente na calda, por espectrofotometria, e o espectro de gotas, através da análise do papel hidrossensível. O ensaio em campo e as análises posteriores foram realizados em uma área de cultivo de milho, em estágio vegetativo V8, na fazenda experimental do Campus Glória e no laboratório de mecanização agrícola, da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). Foi realizado também um estudo de qualidade de aplicação empregando a metodologia do Controle Estatístico de Processo. Os resultados mostraram que com a RPA a deposição foi maior e a ponta AirMix 11001 também se destacou nesta variável estudada. Não foi verificado comportamento de não aleatoriedade na deposição. A aplicação terrestre denotou o melhor desempenho na cobertura do alvo e na densidade de gotas. Este mesmo método de aplicação com a ponta AirMix 11001 apresentou maior cobertura na parte inferior da cultura. A ponta XR 11001 apontou maior relevância na densidade de gotas. No geral, a ponta XR11001 e a aplicação via RPA apresentaram menores diâmetros da mediana volumétrica (DMVs) apontando maior potencial de deriva. Diante dos resultados obtidos, pode-se citar que a aplicação via RPA é uma ferramenta viável para a aplicação, devendo se atentar a porcentagem de volume de gotas menores de 100 µm, que foi em torno de 15%.

**Palavras-chave:** drone; sistemas de aplicação aérea não tripulada (UAAS); *Zea mays* L.

## Remotely piloted aircraft as a technology for agricultural spraying in the corn crop in the Savannah (Cerrado) region

### ABSTRACT

In the area of pesticides application technology, new tools have emerged, such as the use of remotely piloted aircraft (RPAs), which still require further research related to operational performance under different conditions of use. For this purpose, the work aimed to evaluate and compare the quality of application with RPA and ground in the corn crop in the Cerrado region using different spray nozzles. The experiment was conducted in a completely randomized design, with four treatments and eight replications. The treatments were the application methods, aerial (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) and ground (backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>), and the XR 11001 standard flat fan and AirMix 11001 air-induction flat fan nozzles. Deposition was evaluated, quantified using a tracer (brilliant blue) present in the spray, by spectrophotometry, and the droplet spectrum, through analysis of water-sensitive paper. The field trial and subsequent analyzes were carried out in a corn crop area, at the V8 vegetative stage, on the experimental farm at Campus Glória and in the agricultural mechanization laboratory at the Federal University of Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). The results showed that with the RPA the deposition was greater and the AirMix 11001 nozzle also stood out in this studied variable. Non-random behavior was not verified in the deposition. The ground application denoted the best performance in target coverage and droplet density. This same application method with the AirMix 11001 nozzle showed greater coverage at the bottom of the crop. The XR 11001 nozzle showed greater relevance in droplet density. In general, the XR11001 nozzle and the application via RPA showed lower volume median diameters (VMDs), indicating a greater potential for drift. Given the results obtained, it can be mentioned that application via RPA is a viable tool for application, and attention should be paid to the volume percentage of droplets smaller than 100 µm, which was around 15%.

**Keywords:** drone; unmanned aerial application systems (UAAS); *Zea mays* L.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é nativo do México e da América Central, e se adaptou a diferentes condições edafoclimáticas (Osorio-Santiago *et al.*, 2022). Seu uso é variado, como, para alimento, forragem, ração, combustível, tornando-o destaque e uma cultura de alto valor (Aakash *et al.*, 2022). Além desses usos citados, recentemente, pesquisadores (Doan *et al.*, 2020; Silva Viana *et al.*, 2020) têm proposto a utilização do sabugo de milho para a síntese de nanopartículas. Segundo Xu *et al.* (2020), existem mais de 3.000 produtos processados da cultura.

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo (Sica *et al.*, 2021). A produção da safra 2022/23 no país foi de 131,9 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Em área plantada, o milho corresponde a uma participação de aproximadamente 20% da área mundial de cultivo, com cerca de 19,8 milhões de hectares (Lima *et al.*, 2022). Na atualidade, a maior produtividade do milho no país é proporcionada pela segunda safra (safrinha) (da Silva Colla *et al.*, 2021).

Na produção de milho a ocorrência de doenças pode comprometer a produtividade, representando perdas econômicas (Ferreira; Miranda, 2020). As espécies de pragas na cultura mais importantes economicamente na região Neotropical da América do Sul são a cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) (Cunha *et al.*, 2023; Oliveira; Frizzas, 2022) e os lepidópteros, como a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis* F.) (Francischini *et al.*, 2019; Horikoshi *et al.*, 2022; Marques *et al.*, 2019) e a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* W.) (Amaral *et al.*, 2020; Juárez *et al.*, 2012).

Para fazer o controle das pragas e doenças, faz-se principalmente o uso de produtos fitossanitários. Tudi *et al.* (2021) descrevem que esses produtos são imprescindíveis na produção agrícola. Para se ter uma ideia, cerca de um terço dos produtos agrícolas são produzidos em função da aplicação de produtos fitossanitários. Sem o uso desses produtos, haveria uma perda de aproximadamente 32% na produção de cereais. Portanto, desempenham um papel essencial na redução dos problemas fitossanitários e no aumento do rendimento das culturas. Assim, eles têm contribuído de forma significativa para reduzir a escassez de alimentos e fornecer alimentos de qualidade.

Nesse cenário, onde os produtos fitossanitários são de grande importância, e no momento em que o mundo está se esforçando para o uso de práticas agrícolas mais sustentáveis, um dos focos principais é o manejo eficaz de pragas para aumentar a produtividade das culturas (Singh *et al.*, 2020). O manejo eficaz se refere ao não desperdício, ou seja, o produto aplicado

deve chegar uniformemente ao alvo e assim fazer o controle da praga ou doença de forma eficiente e com risco mínimo ao meio ambiente. Embora desafiadoras, perdas de produtos, aplicação insuficiente ou excessiva, bem como cobertura e deposição inadequadas, devem ser evitadas de forma a preservar o ecossistema, a segurança alimentar e a saúde humana (Grella *et al.*, 2022). Segundo Wang *et al.* (2022a) avanços em tecnologias baseadas em evidências oferecem novas oportunidades para enfrentar os desafios associados à agricultura sustentável.

Uma das tecnologias mais recentes são as aeronaves remotamente pilotadas (RPAs). É um tipo de aeronave que pode voar de forma autônoma sem um piloto a bordo, e o movimento da aeronave é controlado remotamente pelo operador (Reddy Maddikunta *et al.*, 2021). Os atomizadores comumente usados para aplicações via RPA compreendem principalmente atomizações por pressão e centrífugas (Yang *et al.*, 2023). Um pulverizador do tipo RPA que faz aplicações por meio das pontas hidráulicas formam as gotas sob pressão. A pressão apropriada é produzida para aplicar a calda com a ajuda do motor de pulverização. Um controlador de escoamento usa o sensor *Hall-flow* para estimar o fluxo da calda dentro do sistema e iniciar a aplicação. As RPAs utilizadas para esse fim podem variar de acordo com sua velocidade, carga útil e número de pontas de pulverização (Velusamy *et al.*, 2022).

A aplicação via RPA restringe o contato humano com os produtos. Visto que já foram relatadas doenças causadas pela exposição dos trabalhadores aos produtos fitossanitários (Alengebawy *et al.*, 2021), a aplicação via RPA se mostra como uma alternativa. Essa técnica de aplicação é utilizada principalmente para substituir os pulverizadores manuais convencionais, pulverizadores hidropneumáticos, pulverizadores aéreos tripulados, e, além disso, a realização de trabalhos de pulverização em locais de difícil acesso às máquinas terrestres, como áreas montanhosas e pomares desordenados, que não seguem linhas de plantio (Wang *et al.*, 2022b). Embora o uso de RPAs seja cada vez mais adotado para aplicações aéreas, ainda há incerteza sobre sua eficiência em relação a uniformidade de deposição e eficiência de aplicação (Richardson *et al.*, 2020).

A pulverização com a aplicação via RPA é afetada pela relação entre o *design* da ponta e o produto fitossanitário (Dong *et al.*, 2023). As principais características incluem o tamanho e a velocidade das gotas (Li *et al.*, 2021a). Segundo Wang *et al.* (2023a), a ponta é o componente mais crítico de um pulverizador para as aplicações de produtos fitossanitários. Cerruto *et al.* (2021) descrevem que o espectro de gotas da pulverização correto garante a dose necessária no alvo, minimizando as perdas por deriva.



As RPAs, não diferente dos outros pulverizadores, requerem equipamentos adequados. As pontas utilizadas nas RPAs multirrotores são montadas nos braços onde os rotores com hélices estão localizados ou em uma barra posicionada transversalmente na direção do voo. Portanto, se encontram abaixo dos rotores. A intensidade da corrente de ar proveniente dos rotores, que tende a influenciar na pulverização, não pode ser ajustada livremente, pois depende principalmente do peso do equipamento e da altura de voo, fazendo com que a seleção das pontas apropriadas para o tratamento seja de suma importância (Chojnacki; Pachuta, 2021).

A ponta de jato plano padrão é amplamente utilizada no processo de pulverização para o controle de pragas e doenças na agricultura. Esta, no entanto, produz tamanho de gotas diversos, com isso, muitas gotas pequenas que estão associadas à deriva de pulverização são levadas pelo vento e depositadas fora da área de aplicação desejada (Sijs; Kooij; Bonn, 2023).

As pontas de indução de ar podem ser uma alternativa na aplicação. Nesse tipo de ponta, a calda a ser aplicada passa por meio de uma seção estreita do canal, resultando no efeito Venturi, criando uma pressão negativa dentro do corpo da ponta. Isso faz com que o ar seja puxado para a parte interna através de orifícios presentes na mesma e misturado com a calda antes de sair pela ponta. A pulverização gerada contém gotas com bolhas de ar, conseqüentemente produz menos gotas finas (Doruchowski *et al.*, 2017). Apesar de as gotas de tamanho pequeno apresentarem boa deposição e cobertura, elas podem derivar mais facilmente (Zhang *et al.*, 2018). Kasbi *et al.* (2023) relatam a adequação das pontas com indução de ar em relação às pontas tipo jato plano padrão em função das condições de pulverização com movimento caótico, que é característico da RPA, onde tem-se o fluxo de ar turbulento descendente, que leva a uma maior desintegração das gotas e aumenta o potencial de deriva enquanto a cobertura é mais comprometida.

De acordo com o exposto, compreender as características de espectro de gotas e deposição da calda de pulverização em condições de trabalho é essencial para orientar a escolha mais adequada da ponta de pulverização e a tecnologia a ser empregada em relação à estrutura do alvo e condições ambientais locais. Com isso, o trabalho objetivou avaliar a qualidade da aplicação com a aeronave remotamente pilotada na cultura do milho em região de Cerrado utilizando diferentes pontas de pulverização, e comparar essa aplicação aérea com a terrestre.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O experimento em campo foi conduzido na safra 2022/2023, em lavoura de milho, na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), com as coordenadas de latitude Sul 18°57'07" e longitude Oeste 48°12'46", na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, durante o mês de janeiro de 2023. A área possui altitude média de 867 m e o clima característico da região é do tipo Aw tropical úmido megatérmico, segundo a classificação de Köppen, caracterizado pelo verão quente e úmido e inverno frio e seco. A temperatura do ar média mensal varia de 20,9 a 23,1 °C. A precipitação média anual é de 1.500-1.600 mm (Rodrigues; Lima, 2019).

O campo onde foi realizado o experimento foi cultivado com milho híbrido XB 6016 Vip 3, da Semeali Sementes (Birigui, São Paulo), semeado no dia 25 de novembro de 2022, com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e densidade de 66.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Possui como características a precocidade e estabilidade, tolerante ao complexo de enfezamento e alto potencial produtivo (Semeali<sup>®</sup>, 2022). A aplicação ocorreu no estágio fenológico vegetativo V8, em onze de janeiro de 2023, 47 dias após a semeadura (DAS). As plantas se encontravam com uma altura média de 1,15 m (Figura 1).

Figura 1 – Campo experimental com a cultura do milho, cultivar XB 6016 Vip 3



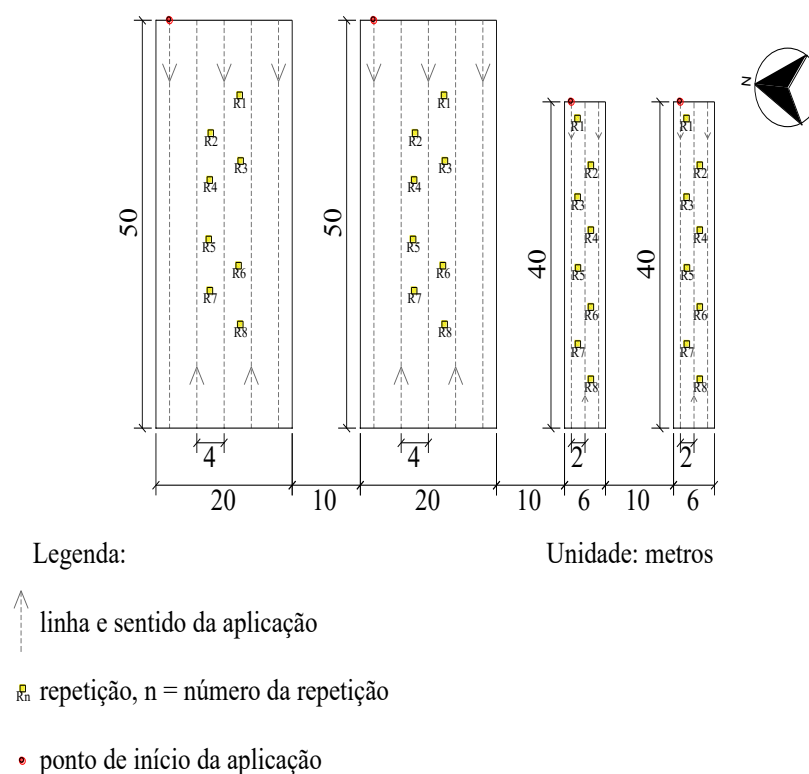
Fonte: A autora, 2023.

### 2.2 Unidade experimental e equipamentos

A área experimental, conforme mostrado na Figura 2, foi composta por quatro parcelas e as repetições de cada tratamento foram posicionadas dentro de cada uma delas. As aplicações

com a aeronave remotamente pilotada (RPA) foram realizadas em parcelas de 50 m de comprimento e 20 m de largura, totalizando uma área de 1000 m<sup>2</sup> cada. As parcelas que receberam as aplicações com o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> apresentavam 40 m de comprimento e 6 m de largura, totalizando 240 m<sup>2</sup> cada. Em cada parcela onde a aplicação foi realizada com RPA, para a amostragem, foram desconsiderados 5,0 m em cada uma das bordas laterais e das extremidades do comprimento. Nas parcelas onde foram feitas as aplicações terrestres foi desconsiderado 1,0 m em cada uma das bordas, para efeito de bordadura, de forma a garantir que a velocidade do pulverizador fosse constante. A distância entre as parcelas era de 10 m (zona tampão). A faixa de trabalho para aplicação aérea foi de 4 m, baseado no trabalho conduzido por Cunha e Silva (2023), e para aplicação terrestre foi de 2 m (largura faixa da barra).

Figura 2 – Arranjo experimental



Fonte: A autora, 2023.

Na aplicação foram utilizados os pulverizadores agrícolas do tipo aeronave remotamente pilotada (RPA) AGRAS MG-1P (DJI, China) (Figura 3a), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (130 rpm/volts), maiores especificações se

encontram na Tabela 1, e o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, munido com uma barra com quatro bicos espaçados entre si em 0,5 m (Figura 3b).

Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental



(a) Aeronave remotamente pilotada AGRAS MG-1P (DJI, China); (b) Pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>.  
Fonte: A autora, 2022.

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada

Parâmetro	Descrição
Método de Operação	Controle remoto
Dimensões (mm)	1460 x 1460 x 578 (medidas com braços abertos)
Capacidade de trabalho (ha h <sup>-1</sup> )	4
Sistema de pulverização	Pulverização atomizada
Capacidade do tanque (L)	10
Número de bicos	4
Faixa de Aplicação (m)	4 - 6 (com aplicação de 1,5 - 3,0 m da cultura)
Faixa de precisão radar (m)	0,10
Velocidade máxima operacional (m s <sup>-1</sup> )	7
Modo de posicionamento	GPS + GLONASS* ou manual

\* GPS: Sistema de posicionamento global; GLONASS: Sistema global de navegação por satélite.  
Fonte: DJI, 2018.

As pontas utilizadas na aplicação foram: jato plano padrão XR 11001, da empresa Teejet<sup>®</sup> Technologies (Illinois, EUA) e jato plano com indução de ar AirMix 11001 da Agrotop<sup>®</sup> Spray Technology (Obertraubling, Alemanha).

Alguns parâmetros da aplicação variaram conforme o tipo de pulverizador, como a velocidade de deslocamento, a taxa de aplicação e a altura de trabalho, seus valores podem ser visualizados na Tabela 2. Na pulverização terrestre, para ambas as pontas, a pressão de trabalho foi de 200 kPa, e a vazão de cada ponta foi de 0,33 L min<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre

Aplicação	Ponta	Velocidade deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Altura de trabalho (m)
Aérea - RPA	XR 11001	6,2	10	2,0*
Aérea - RPA	AirMix 11001	6,2	10	2,0*
Terrestre	XR 11001	1,1	100	0,5**
Terrestre	AirMix 11001	1,1	100	0,5**

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada; \*Altura de voo; \*\* Altura de trabalho em relação à cultura.  
Fonte: A autora, 2023.

Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas na área apresentaram a umidade relativa do ar variando entre 61,0% a 74,0%, com média de 69,5%, a temperatura do ar variou entre 30,1 a 32,2 °C, com média de 30,9 °C, e a velocidade do vento esteve entre 0,9 a 1,4 m s<sup>-1</sup>, com média de 1,2 m s<sup>-1</sup>, medidos por um Termo-higro-anemômetro digital portátil modelo KR825, marca AKROM<sup>®</sup> (São Leopoldo, Brasil).

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi considerado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois fatores (ponta e método de aplicação), totalizando quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram as pontas XR 11001 e AirMix 11001 e os métodos de aplicação, aéreo (via RPA) e terrestre (via pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>), conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos

Tratamento	Ponta	Método de aplicação	Pulverizador	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )
1	Jato plano XR 11001	Aérea	RPA	10
2	Jato plano com indução de ar AirMix 11001	Aérea	RPA	10
3	Jato plano XR 11001	Terrestre	Costal pressurizado com CO <sub>2</sub>	100
4	Jato plano com indução de ar AirMix 11001	Terrestre	Costal pressurizado com CO <sub>2</sub>	100

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada.  
Fonte: A autora, 2023.

## 2.4 Avaliações

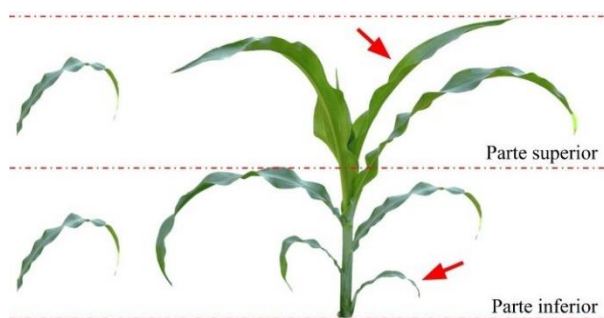
Para a RPA, antes da aplicação, foi feito o plano de voo de acordo com as parcelas, a faixa e a taxa de aplicação, a altura de voo e a velocidade de deslocamento para que o voo fosse feito a partir de uma programação prévia. Com a calda no tanque dos pulverizadores, a aplicação foi realizada. O voo da RPA foi feito sentido *back-to-back* (vai e vem), assim como as passadas com o pulverizador terrestre.

### 2.4.1 Deposição

A deposição na cultura foi quantificada por meio da adição de um traçador à calda, constituído de corante alimentício Azul Brilhante (FD&C Blue n.1) catalogado internacionalmente pela Food, Drug & Cosmetic, na dose de  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . A calda era formada por água e corante.

Após a aplicação, as amostragens foram realizadas nas partes superior (última folha completamente expandida) e inferior (primeira folha) da cultura, sendo retirado uma folha de cada parte da planta (Figura 4). As amostras foram coletadas em oito pontos ao acaso, considerando toda a área útil da parcela. As folhas foram armazenadas de acordo com a altura e a posição correspondente de cada repetição e parcela, em sacos plásticos, previamente identificados, que foram fechados e acondicionados em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso, e em seguida transportados para o laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais), local onde foram realizadas as posteriores análises.

Figura 4 – Forma de amostragem das folhas para avaliar a deposição



As setas vermelhas indicam a amostragem das folhas. Parte inferior: primeira folha. Parte superior: última folha.  
Fonte: A autora, 2023.

Com as amostras em laboratório foi feita a remoção do depósito das folhas. Para isso, foram adicionados 100 mL de água deionizada em cada saco plástico com as amostras e, posteriormente, os sacos plásticos com a solução foram agitados para a completa homogeneização utilizando uma mesa agitadora pendular modelo TE240/I da empresa Tecnal (Piracicaba, Brasil), regulada a 250 rpm por 15 minutos, de forma a extrair todo o traçador presente nas amostras.

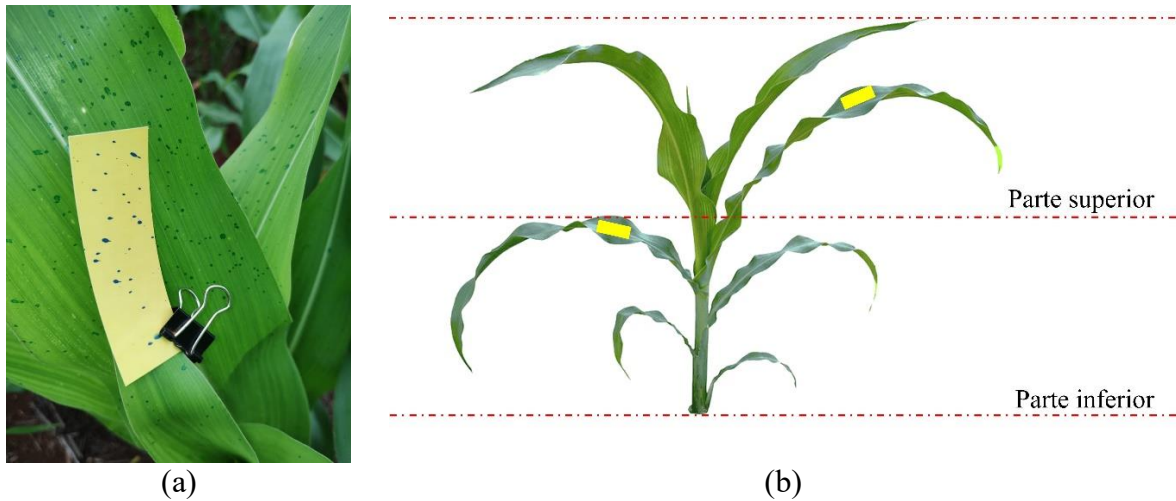
Das soluções formadas foi quantificado o corante por meio dos valores de absorbância obtidos por espectrofotometria, que consiste em determinar a concentração de uma substância pela medida da absorção relativa da luz, ou seja, mostra a energia luminosa absorvida pela amostra em uma frequência específica. O espectrofotômetro utilizado no experimento foi da marca Bioespectro (Curitiba, Brasil), modelo SP-22, com lâmpada de tungstênio-halogênio, e cubetas de vidro com caminho óptico de 10 mm, no comprimento de onda de 630 nm para a cor azul.

Para o cálculo da deposição, os valores de absorbância foram transformados em concentração de traçador em  $\mu\text{g L}^{-1}$  utilizando uma curva de calibração previamente determinada a partir de soluções com concentração conhecida, sendo então, obtido a massa do traçador depositado com relação a quantidade de solução extratora utilizada na lavagem das folhas. Posteriormente, a massa do traçador foi dividida pela área foliar, em  $\text{cm}^2$ , de cada amostra para que a deposição fosse determinada em  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . A área foliar foi determinada utilizando um medidor de área foliar modelo LI 3100C, da marca Licor<sup>®</sup> (Lincoln, EUA).

#### *2.4.2 Espectro de gotas*

O espectro de gotas formado pela pulverização foi caracterizado por meio das etiquetas de papel hidrossensível, que apresentam dimensões de 76 x 26 mm, da marca Syngenta<sup>®</sup> (Basileia, Suíça). Para isso, duas etiquetas foram utilizadas por repetição, dentro das parcelas, nas partes superior e inferior da cultura (Figura 5a e 5b). Foi utilizado cliques de presilha metálica para fixá-las às plantas de forma a simular a própria folha. As etiquetas foram coletadas e alocadas dentro de envelopes de papel, devidamente identificados, após a aplicação em cada parcela, sendo então levadas ao laboratório, onde foram digitalizadas e analisadas empregando-se o sistema DropScope<sup>®</sup> da SprayX (São Carlos, Brasil), equipamento exclusivo para esse tipo de análise.

Figura 5 – Detalhe e posicionamento das etiquetas de papel hidrossensível



(a) Papel hidrossensível fixado à planta; (b) Forma de amostragem dos papéis hidrossensíveis nas diferentes partes da planta.

Fonte: A autora, 2023.

Foram analisados no espectro de gotas, a cobertura (%), a densidade de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume em gotas menores que  $100 \mu\text{m}$  ( $\% < 100 \mu\text{m}$ ).

## 2.5 Análises Estatísticas

As análises estatísticas de delineamento experimentais são feitas a partir de técnicas como a de modelos lineares ou por meio da análise de variância (ANAVA) em que satisfazendo as pressuposições, relacionadas a cada fator, o teste consiste em comparar o valor da estatística F com os percentis da distribuição F-Snedecor ao nível de significância de 0,05, e quando significativo é feita a comparação de médias (Banzatto; Kronka, 1995; Morais, 2001; Pimentel-Gomes, 2000). A diferença de médias foi analisada pelo Teste de Tukey, também ao nível de significância de 0,05.

Neste trabalho foi realizado o estudo das pressuposições do modelo linear em que foram empregados para testar a normalidade dos resíduos os testes de Shapiro-Wilk (W), para homogeneidade das variâncias, os testes de Levene (L) e o teste de Durbin-Watson (DW) para independência dos resíduos. Satisfeitas estas pressuposições das variáveis, realizou-se um estudo de análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com os quatro tratamentos, sendo a repetição desbalanceada para as variáveis de espectro de gotas.



Nem sempre as pressuposições do modelo linear foram satisfeitas, e quando isso ocorre, uma alternativa no DIC é fazer uso de transformações de dados. Para isso, foram usadas as transformações raiz quadrada e logarítmica (ln). Quando mesmo transformando, não se satisfiz os pressupostos, foi usado de estatística não paramétrica como o teste de Kruskal-Wallis (Morais, 2001), e representada a medida de posição dos dados a partir das medianas, devido a não normalidade.

De forma complementar para avaliar se o processo de deposição de calda, dentro de cada parcela, estava dentro da variabilidade aceitável, ou seja, verificar a qualidade da deposição foram confeccionados os gráficos de controle. O monitoramento pelo controle estatístico de processos (CEP) é uma metodologia muito útil e eficaz para detectar alterações anormais de um processo (Xu; Deng, 2023). A análise foi feita para as partes superior e inferior da cultura.

Na construção dos gráficos de controle individual foram utilizadas as medidas individuais de cada tratamento, e para os gráficos de controle da variabilidade entre duas medidas consecutivas utilizou-se a amplitude móvel, conforme Montgomery (2017). O gráfico de controle individual apresenta os limites de controle inferior (LCL) e superior (UCL), e a linha central, que são calculados conforme as Equações 1, 2 e 3. Quando o LCL apresentou valor negativo, ele foi especificado em zero, pois é o menor valor possível a ser encontrado para a deposição.

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (1)$$

$$Linha\ central = \bar{x} \quad (2)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

Em que:

$UCL$  = limite de controle superior;

$\bar{x}$  = média das observações;

$\overline{MR}$  = média das amplitudes móveis de duas observações;

$d_2$  = valor tabulado dependente do número de observações;

$LCL$  = limite de controle inferior.

A média das amplitudes das amostras é calculada a partir da Equações 4 e 5.

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + \dots + MR_m}{m} \quad (4)$$

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (5)$$

Em que:

$MR$  = amplitude móvel;

$x$  = observação.

Os gráficos de controle da variabilidade, utilizando a amplitude móvel, também apresentam os limites superior e inferior e a linha central, que foram calculados a partir das Equações 6, 7 e 8, a seguir:

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad (6)$$

$$Linha\ central = \overline{MR} \quad (7)$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad (8)$$

Em que:

$D_4$  e  $D_3$  são valores tabulados dependente do número de observações.

As análises foram realizadas utilizando o *software* R na versão 4.2.2. (R Core Team, 2020) e os gráficos de controle foram confeccionados no *software* Minitab® na versão 16.2 (Minitab Inc., 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Deposição

A deposição é um fator de grande relevância visto que indica a quantidade de calda depositada ou produto por unidade de área. A Tabela 4 mostra os valores médios de deposição do traçador presente na calda aplicada. Na parte superior da planta, a aplicação aérea via aeronave remotamente pilotada (RPA) apresentou maior média de deposição, com 3,900  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , quando comparada a aplicação terrestre, que apresentou 2,494  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . Uma maior massa de deposição significa uma menor perda de produto aplicado.

Tabela 4 – Médias da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na cultura do milho promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas

Aplicação	Deposição na parte superior	
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	3,900 a	
APLICAÇÃO TERRESTRE	2,494 b	
Ponta		
XR 11001	2,456 b	
AIRMIX 11001	3,939 a	
Pressupostos	<b><math>W = 0,95</math>; <math>L = 2,43</math>; <math>DW = 2,63</math></b>	
	Deposição na parte inferior <sup>1</sup>	
	PONTA XR 11001	PONTA AIRMIX 11001
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	1,615 aA	1,241 aA
APLICAÇÃO TERRESTRE	1,087 bB	1,693 aA
Pressupostos	<b><math>W = 0,96</math>; <math>L = 1,82</math>; <math>DW = 2,61</math></b>	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância;  $W$ ,  $L$  e  $DW$ : estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>1</sup> Interação significativa entre os fatores; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Zhang *et al.* (2023) afirmam que o fluxo de ar descendente produzido pelos rotores da RPA, chamado *downwash*, influencia principalmente a deposição de gotas e à deriva, o que altera as características da pulverização. As deformações geradas na cultura-alvo, em função desse fluxo de ar, se apresentarão de forma particular para os diferentes parâmetros fenotípicos

das culturas e, portanto, o efeito de deposição também pode ser diferente. E ainda, a forma de entrada e adesão das gotas em culturas com diferentes estádios de desenvolvimento diferem devido a diferenças na altura da cultura, densidade e índice de área foliar (Guo *et al.*, 2021). Segundo Zhan *et al.* (2022), o efeito *downwash* pode melhorar a deposição da pulverização nas culturas alvo, como o ocorrido neste trabalho. Nesse sentido, Hong, Zhao e Zhu (2018) descrevem que o forte fluxo de ar reduz o tempo de voo da gota e reduz o efeito das condições meteorológicas na aplicação, o que pode favorecer a deposição das gotas.

Em geral, Wang *et al.* (2023a) observaram maior deposição de calda em folhas de milho (*Zea mays* L.) para a aplicação aérea, via RPA, em relação a aplicação terrestre, via pulverizador costal elétrico, cujas taxas de aplicação via RPA foram de 15 e 30 L ha<sup>-1</sup> e para a aplicação terrestre foi de 450 L ha<sup>-1</sup>. A deposição média aumentou significativamente em 87,90% para os tratamentos de 15 L ha<sup>-1</sup> e 46,70% para os tratamentos de 30 L ha<sup>-1</sup> em comparação a aplicação terrestre. Corroborando ainda com esses resultados, Hussain *et al.* (2022) também avaliaram a deposição na cultura do milho em diferentes alturas de planta, e como resposta observaram que o valor médio da deposição de gotas para a aplicação via RPA com taxas de 15 e 30 L ha<sup>-1</sup> não foram estatisticamente diferentes. Sinteticamente, a deposição com as aplicações via RPA foram maiores que com pulverizador costal (450 L ha<sup>-1</sup>).

Wang *et al.* (2022c) estudando aplicações de produtos na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) observaram que houve menor deposição com o pulverizador de barra (450 L ha<sup>-1</sup>) na parte superior da cultura, com aproximadamente 0,12 µg cm<sup>-2</sup>, quando comparado as aplicações via RPA com taxas de 15,0; 22,5 e 30,0 L ha<sup>-1</sup>, que apresentaram valores de deposição variando entre 0,20 e 0,25 µg cm<sup>-2</sup>. Os autores verificaram ainda, que seria recomendado uma aplicação via RPA com a taxa de 15 L ha<sup>-1</sup> quando considerada a deposição, a eficácia de produtos auxiliares à colheita, a eficiência de trabalho e menor custo para uma colheita mecanizada.

Wang *et al.* (2023b) avaliaram a aplicação na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e tiveram como resultado que a distribuição e deposição de gotas indicam que embora a taxa de aplicação do pulverizador costal, 450 L ha<sup>-1</sup>, fosse uma ordem de grandeza maior que a do pulverizador RPA, 22,5 L ha<sup>-1</sup>, a deposição de gotas com a aplicação via RPA foi melhor do que a do pulverizador costal.

No que se refere às pontas utilizadas, a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 se destacou para a maior deposição (3,939 µg cm<sup>-2</sup>) na parte superior da cultura. Na parte inferior, na aplicação terrestre também apresentou melhor desempenho, com 1,693 µg cm<sup>-2</sup>,

demonstrando a boa capacidade de penetração dessa ponta nesse método de aplicação. Nesse tipo de ponta, no processo de pulverização, o ar é aspirado com base no efeito Venturi e depois misturado com a calda na passagem do fluido pela ponta, formando um fluxo gás-líquido (Abdelmotalib *et al.*, 2021). Ela apresenta como principal característica a redução de deriva, pois produz tipicamente um espectro de gota mais grosso (De Cauwer *et al.*, 2023). Essas gotas grossas contendo bolhas de ar ao atingir o alvo produzem gotas menores devido ao respingo das gotas, o que pode contribuir para uma maior deposição, pois o rebote dessas gotas maiores é evitado. Possivelmente foi o que ocorreu neste trabalho.

McCoy *et al.* (2022) observaram que as pontas de indução de ar, para uma aplicação com assistência de ar, resultaram em maior deposição na parte superior do dossel de videira (*Vitis vinifera* L.), com  $426 \text{ ng cm}^{-2}$ , em relação a ponta sem indução de ar ( $380,1 \text{ ng cm}^{-2}$ ). Guo *et al.* (2022) avaliando a aplicação via RPA em pomares de pereira (*Pyrus* L.) variedade Nanguo também constataram uma maior deposição para a ponta (IDK90015) com indução de ar. Quando a aplicação foi feita com a taxa de  $90 \text{ L ha}^{-1}$  produziu os maiores valores de deposição de  $0,719$  e  $0,488 \text{ } \mu\text{L cm}^{-2}$  com e sem adjuvante na face superior das folhas, respectivamente.

Na parte inferior da cultura, a interação entre as pontas e o método de aplicação foi significativa. Quando a aplicação foi feita com a ponta XR 11001, a aplicação com a RPA apresentou maior deposição ( $1,615 \text{ } \mu\text{g cm}^{-2}$ ) que a aplicação terrestre ( $1,087 \text{ } \mu\text{g cm}^{-2}$ ), caracterizando que o método de aplicação modificou a deposição. Shouji *et al.* (2021) afirmam que as características de atomização das pontas de pulverização são muito afetadas pelo fluxo de ar descendente, o que pode explicar essa diferença na deposição da calda.

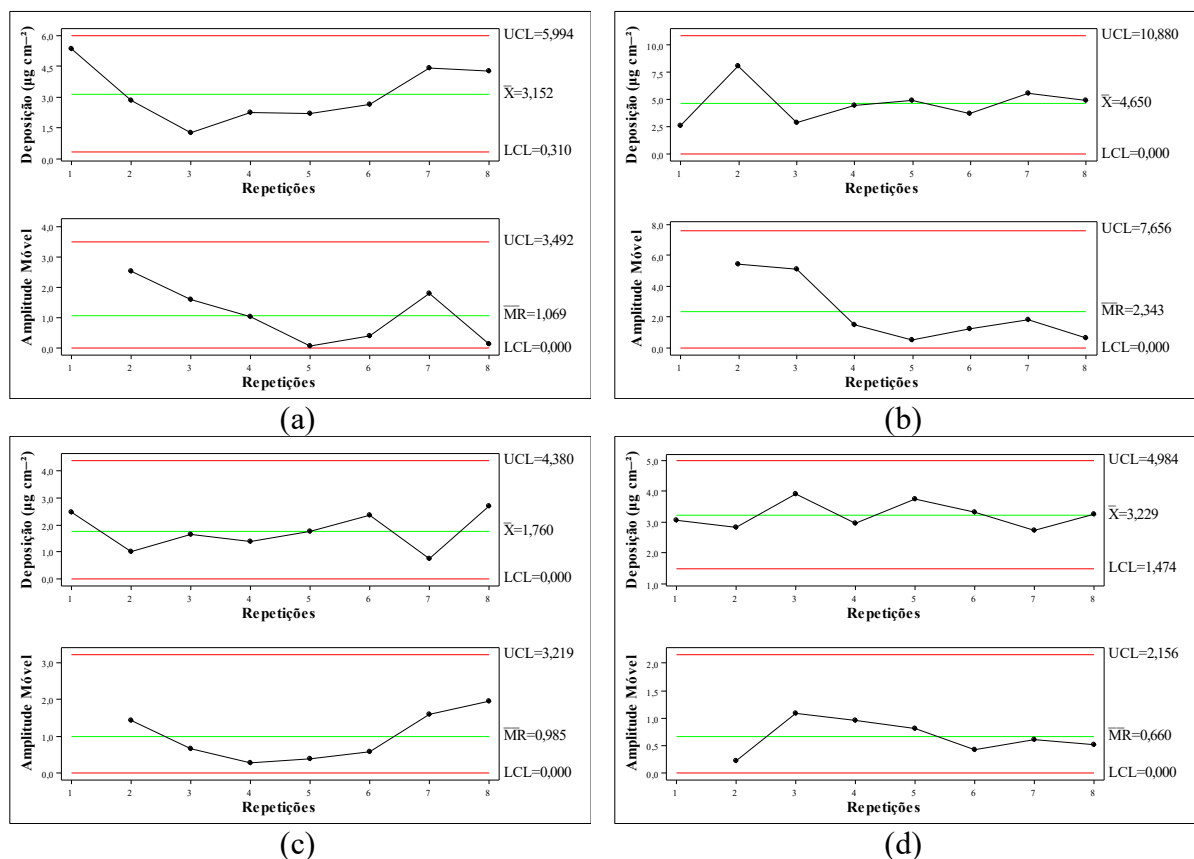
Para esta pesquisa, os resultados indicam que é possível reduzir a taxa de aplicação, sem diminuir a deposição da calda, e o uso da ponta AirMix 11001 pode apresentar melhor desempenho na deposição da calda na cultura do milho no estágio fenológico vegetativo V8.

O monitoramento das diferentes partes dos processos de aplicação de produtos fitossanitários é um grande desafio devido às novidades da tecnologia e às condições de campo, mas é de grande importância para garantir que a aplicação atenda a qualidade esperada. Nesse sentido, as cartas de controle se apresentam como uma ferramenta usada para examinar essa qualidade. Geralmente são desenvolvidas para uma variável resposta, com isso condiciona o estudo em informações que possam ser úteis para melhorar ou manter a qualidade do processo em função da variável estudada (Mahmood *et al.*, 2022).

As Figura 6 e 7 mostram os gráficos de controle para a deposição na parte superior e inferior da cultura, respectivamente, a partir dos seus valores obtidos para cada tratamento. Não

foram observados padrões de não aleatoriedade para os diferentes tipos de ponta e técnicas de aplicação avaliados, pois os valores de deposição se encontraram dentro dos limites superior (UCL) e inferior (LCL) de controle, o que corresponde em causas casuais de aleatoriedade de variação, em relação ao valor médio do processo, podendo dizer que o mesmo está sob controle. Portanto, as aplicações se apresentaram regulares no que se refere a deposição dentro do controle estatístico de processos (CEP), apresentando a variabilidade natural. De acordo com Hadian e Rahimifard (2019), o processo se apresenta “fora de controle” quando os pontos no gráfico de controle se deslocam para fora do limite superior ou inferior. Conseqüentemente, o processo varia além de uma medida projetada ao longo de alguns períodos ou espaço. A presença de condições fora de controle deve levar a uma análise mais aprofundada motivada a encontrar as causas específicas para posterior busca de soluções e/ou correções.

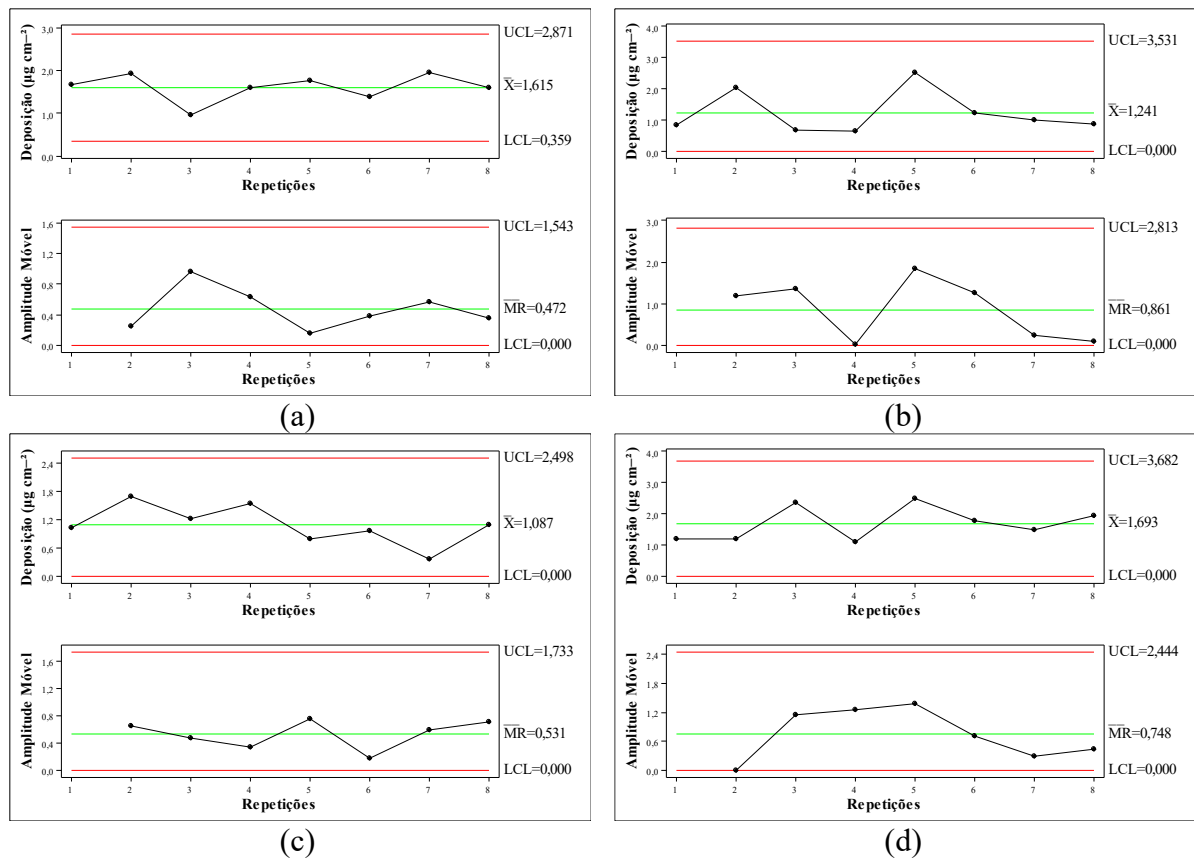
Figura 6 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte superior da cultura do milho



(a) RPA - XR 11001; (b) RPA - AirMix 11001; (c) TERRESTRE - XR 11001; (d) TERRESTRE - AirMix 11001. UCL: limite superior,  $\bar{X}$ : média do tratamento, LCL: limite inferior,  $\overline{MR}$ : médias móveis; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Figura 7 – Gráficos de controle para a deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador na parte inferior da cultura do milho



(a) RPA - XR 11001; (b) RPA - AirMix 11001; (c) TERRESTRE - XR 11001; (d) TERRESTRE - AirMix 11001. UCL: limite superior,  $\bar{X}$ : média do tratamento, LCL: limite inferior,  $\overline{MR}$ : médias móveis; RPA: aeronave remotamente pilotada. Fonte: A autora, 2023.

Para a deposição na parte superior da cultura (Figura 6), as maiores variações ocorreram nas aplicações via RPA. Quando essa técnica foi empregada com o uso da ponta AirMix 11001 (Figura 6b), na segunda repetição (observação) o valor de deposição foi de  $8,081 \mu\text{g cm}^{-2}$  enquanto a média foi de  $4,650 \mu\text{g cm}^{-2}$ , registrando a maior variação entre a observação e o valor médio, com  $3,431 \mu\text{g cm}^{-2}$  de amplitude. A aplicação terrestre com a ponta AirMix 11001 (Figura 6d) resultou na menor variação entre os valores de deposição encontrados e a média, com a repetição três ( $3,915 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) caracterizando o ponto de maior variação.

Na parte inferior da cultura (Figura 7) também não foram observados padrões de não aleatoriedade. A maior variação, tal como na parte superior, foi para a aplicação via RPA com a ponta AirMix 11001 (Figura 7b), em que, na repetição cinco a deposição foi de  $2,513 \mu\text{g cm}^{-2}$  e a média foi de  $1,241 \mu\text{g cm}^{-2}$ , apresentando uma amplitude de  $1,272 \mu\text{g cm}^{-2}$ .

A aplicação via RPA com a ponta XR 11001 (Figura 7a) revelou a menor variação entre os dados e a média.

No geral, a partir dos resultados, é plausível dizer que a menor variação entre os dados de deposição foi com a aplicação terrestre, mesmo observando que o processo está sob controle para ambos os métodos de aplicação. Essa menor variação entre as observações não significou maior deposição na cultura, como discutido anteriormente (Tabela 4), onde as aplicações via RPA apresentaram maior destaque. O diagnóstico de possíveis anormalidades ajuda a melhorar a eficiência do sistema. Reduzir a variabilidade em torno dos valores-alvo pode resultar em minimizar custos, desperdício e retrabalho, melhorando o desempenho.

### 3.2 Espectro de gotas

O grau de cobertura do alvo que recebeu a pulverização é definido como a razão entre a superfície coberta pela calda e a superfície total do amostrador (Cieniawska; Pentoś; Szulc, 2022). Na parte superior da cultura, a cobertura foi afetada pela técnica de aplicação utilizada, conforme Tabela 5. A aplicação terrestre cobriu o alvo cerca de 10 vezes mais, com 9,95%, quando comparado a aplicação via aeronave remotamente pilotada (RPA) que apresentou 0,95% de cobertura. Conforme o esperado, a cobertura diminuiu em função da menor taxa de aplicação. Hunter *et al.* (2019) também observaram que a cobertura diminuiu consistentemente à medida que a taxa de aplicação diminuiu. Na velocidade de  $1 \text{ m s}^{-1}$  com taxa de  $151 \text{ L ha}^{-1}$  a cobertura para diferentes pontas variou entre 31% e 61%, quando a velocidade foi de  $7 \text{ m s}^{-1}$  e taxa de  $22 \text{ L ha}^{-1}$  a cobertura variou entre 13% e 22%. Outros estudos também comprovam a proporcionalidade de cobertura e taxa de aplicação (Ferguson *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019).

Na parte inferior da cultura, a interação foi significativa entre as pontas e os métodos de aplicação para a cobertura e densidade de gotas. A aplicação terrestre com a ponta XR 11001 (2,29%) e a aplicação via RPA com a ponta AirMix 11001 (0,42%) apresentaram menor cobertura que a aplicação terrestre com a ponta AirMix 11001 (5,14%). Esse resultado mostra que a aplicação terrestre, com maior taxa de aplicação ( $100 \text{ L ha}^{-1}$ ), com a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 oferece melhor cobertura na parte inferior da cultura. Dafsari *et al.* (2021) explicam que a injeção de ar nas gotas pode levar a uma melhor cobertura. Isso ocorre em função da presença de ar nas gotas que proporciona a desintegração das mesmas na superfície alvo e essa desintegração em várias pequenas gotas aumenta a cobertura. Segundo Hołownicki *et al.* (2021), a utilização de pontas com indução de ar, que podem resultar em alta



cobertura de pulverização sobre os alvos, podem ser uma boa solução para aplicação de produtos fitossanitários para minimizar o impacto ambiental sem comprometer a sua efetividade no controle.

Tabela 5 – Médias da cobertura (%) e densidade (gotas cm<sup>-2</sup>) de gotas obtidas nas partes superior e inferior da cultura do milho promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas

<b>Parte superior</b>		
Aplicação	Cobertura <sup>1</sup> (%)	Densidade <sup>2</sup> (gotas cm <sup>-2</sup> )
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	0,95 b	26,73 b
APLICAÇÃO TERRESTRE	9,95 a	170,63 a
<b>Ponta</b>		
XR 11001	4,50 a	137,44 a
AIRMIX 11001	6,76 a	62,13 b
Pressupostos	<b>W = 0,95; L = 1,99; DW = 2,09</b>	
<b>Parte inferior <sup>3</sup></b>		
Cobertura <sup>1</sup> (%)		
	PONTA XR 11001	PONTA AIRMIX 11001
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	0,70 aA	0,42 bA
APLICAÇÃO TERRESTRE	2,29 aB	5,14 aA
Pressupostos	<b>W = 0,97; L = 2,99; DW = 2,23</b>	
Densidade <sup>2</sup> (gotas cm <sup>-2</sup> )		
	PONTA XR 11001	PONTA AIRMIX 11001
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	31,18 aA	4,54 bB
APLICAÇÃO TERRESTRE	66,92 aA	39,96 aA
Pressupostos	<b>W = 0,99; L = 0,39; DW = 2,07</b>	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; *W*, *L* e *DW*: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>1</sup> Transformação raiz quadrada; <sup>2</sup> Transformação logarítmica; <sup>3</sup> Interação significativa entre os fatores; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Vera-Vaca *et al.* (2023) avaliaram a aplicação aérea via RPA na cultura do milho em estádio reprodutivo R2, e observaram uma cobertura inferior a 3,00%. Yongjun *et al.* (2017) também avaliaram a aplicação na cultura do milho e verificaram que quando a cultura

apresentou 1,20 m de altura, a cobertura variou entre 0,49% e 5,87% na parte superior da cultura e 0,08% a 2,13% na parte inferior da cultura para diferentes alturas (1,0; 1,5 e 2,0 m) e velocidades de voo (2, 4 e 6 m s<sup>-1</sup>). Resultados que corroboram com os encontrados nesta pesquisa.

A literatura apresenta diferentes respostas sobre os percentuais de cobertura em relação a sua influência na eficácia. Lewis e Hamby (2020) observaram que otimizar a cobertura é um componente importante do manejo de pragas da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Nansen *et al.* (2021) relatam que a cobertura de forma inconsistente e baixa é particularmente alarmante quando são aplicados inseticidas de contato. Lembrando que maior cobertura aumenta a probabilidade de contato entre o alvo e o produto.

Porém, não necessariamente uma elevada percentagem de cobertura irá significar que a concentração de produto fitossanitário seja suficiente para controlar a praga ou doença (Menger *et al.*, 2020). Arakawa e Kamio (2023) verificaram que a aplicação de produtos fitossanitários em ultrabaixo volume com o uso da RPA pode ser eficaz na proteção dos castanheiros (*Castanea* sp.). Os resultados do trabalho dos autores sugerem que a concentração mais elevada do acaricida fluvalinato (100 vezes menor a diluição da pulverização hidropneumática) pode ser mais eficaz ou ter maior probabilidade de sustentar a sua eficácia. No caso desse experimento, a calda pulverizada pela RPA estava mais concentrada, o que ao atingir o alvo, mesmo com menor taxa de cobertura, pôde resultar em eficácia biológica. Doruchowski *et al.* (2017) aplicando inseticida em macieira (*Malus domestica* (Borkh.)) observaram que as diferenças na cobertura entre os tratamentos não se refletiram na eficácia do controle de pulgões e ácaros. Possivelmente o modo de ação sistêmico dos inseticidas compensou a possível diferença de cobertura produzida. Entendendo-se que a cobertura deve ser estudada com cautela.

Sobre os resultados de densidade, na parte superior da cultura do milho, o valor foi substancialmente maior para a aplicação terrestre, com 170,63 gotas cm<sup>-2</sup>, enquanto a aplicação via RPA obteve 26,73 gotas cm<sup>-2</sup>, onde a taxa de aplicação pode ter interferido no número de gotas na superfície avaliada. Resultado também observado por Shan *et al.* (2021), onde a densidade de gotas aumentou com o aumento da taxa de aplicação. Nesse trabalho os autores observaram que para a calda com a taxa de 7,5 L ha<sup>-1</sup> a densidade variou de 4,4 a 9,9 gotas cm<sup>-2</sup> para diferentes tamanhos de gota (100, 200 e 300 µm), já no volume de 30 L ha<sup>-1</sup> a densidade variou entre 8,8 e 40,0 gotas cm<sup>-2</sup>.

Shan *et al.* (2022) avaliaram a aplicação via RPA na cultura do milho com diferentes taxas de aplicação (7,5-30,0 L ha<sup>-1</sup>) e observaram uma média de densidade de gotas de 18 gotas cm<sup>-2</sup>. Cunha e Silva (2023) também analisaram a aplicação na cultura do milho em estágio vegetativo V5-V6 e observaram uma densidade variando entre 26 a 39 gotas cm<sup>-2</sup> para a aplicação via RPA. Valores próximos ao encontrado nesta pesquisa.

Para as pontas utilizadas nas aplicações, a ponta XR 11001 se destacou com 137,44 gotas cm<sup>-2</sup> enquanto a ponta jato plano com indução de ar AirMix 11001 apresentou densidade de 62,13 gotas cm<sup>-2</sup>. Mur *et al.* (2018) testando aplicações com diferentes pontas na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) também observaram a menor densidade de gotas para a ponta com indução de ar AI 110015 (Hypro<sup>®</sup>, Cambridge, Inglaterra) na parte superior da cultura. Conforme será visto posteriormente, a ponta AirMix 11001 produziu gotas mais grossas que a ponta XR 11001, o que pode explicar a menor densidade de gotas para essa ponta. Sayinci, Demir e Açik, (2019) estimando a densidade de gotas para diferentes pontas de pulverização, observaram que gotas mais grossas produzem menor número de gotas quando comparado a gotas mais finas. Nesse mesmo contexto, ao observar os resultados da parte inferior da cultura, a ponta AirMix 11001 apresentou menor densidade de gotas na aplicação via RPA, 4,54 gotas cm<sup>-2</sup>, quando comparado a aplicação com a ponta XR 11001 que apresentou 31,18 gotas cm<sup>-2</sup>.

A ponta AirMix 11001 apresentou ainda, diferença significativa na densidade para os diferentes métodos de aplicação, na parte inferior da cultura, em que, a aplicação terrestre apresentou maior densidade (39,96 gotas cm<sup>-2</sup>), valor cerca de oito vezes maior, em relação a aplicação com a RPA (4,54 gotas cm<sup>-2</sup>). Como já discutido anteriormente, a maior taxa de aplicação intensificou a densidade de gotas. No que se refere a parte inferior da cultura, esta ponta sofreu maior influência da taxa de aplicação.

Conforme descrito por Zhu, Salyani e Fox (2011), a *Syngenta Crop Protection AG* (Basileia, Suíça) recomenda pelo menos 20-30 gotas cm<sup>-2</sup> para aplicações de inseticidas ou herbicidas pré-emergentes, 30-40 gotas cm<sup>-2</sup> para aplicações de herbicida pós-emergência e 50-70 gotas cm<sup>-2</sup> para aplicações de fungicidas, de modo a apresentar resultados satisfatórios. Levando em consideração que a calda de uma aplicação de ultrabaixo volume é mais concentrada, e que as gotas da calda com o produto fitossanitário tem efeito osmótico e de difusão nas plantas, individualmente as gotas nas folhas das plantas indicam um raio de controle eficaz (Zhang *et al.*, 2020). Li *et al.* (2022) relatam que são necessárias mais pesquisas para

determinar a consistência da densidade de gotas e a cobertura que favorecerá o controle de doenças e pragas, devido a maior concentração do produto e menor taxa de aplicação.

A comparação dos efeitos das aplicações no diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e porcentagem de gotas com diâmetro menor de 100  $\mu\text{m}$  pode ser visualizada na Tabela 6.

Tabela 6 – Diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), amplitude relativa (AR) e porcentagem de gotas com diâmetro menor de 100  $\mu\text{m}$  obtidos nas partes superior e inferior da cultura do milho, promovida pela aplicação terrestre e aérea (RPA) empregando diferentes pontas

Aplicação	Parte superior		
	DMV <sup>1,4</sup> ( $\mu\text{m}$ )	AR <sup>1</sup>	% < 100 $\mu\text{m}$ <sup>2</sup>
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	216,74 b	1,03 a	15,43 a
APLICAÇÃO TERRESTRE	261,75 a	1,19 a	4,47 b
Ponta			
XR 11001	158,72 b	1,17 a	15,68 a
AIRMIX 11001	326,64 a	1,05 a	0,98 b
Pressupostos	<b>W = 0,97; L = 2,91;</b> <b>DW = 2,06</b>	<b>W = 0,98; L = 0,57;</b> <b>DW = 1,87</b>	<b>W = 0,71; L = 0,97;</b> <b>DW = 2,40</b>
Aplicação	Parte inferior		
	DMV <sup>1,3</sup> ( $\mu\text{m}$ )	AR <sup>1</sup>	% < 100 $\mu\text{m}$ <sup>1,4</sup>
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	223,20 a	0,79 a	10,95 a
APLICAÇÃO TERRESTRE	220,04 a	0,89 a	5,89 b
Ponta			
XR 11001	154,45 b	0,85 a	15,23 a
AIRMIX 11001	288,79 a	0,83 a	1,61 b
Pressupostos	<b>W = 0,96; L = 0,93;</b> <b>DW = 2,13</b>	<b>W = 0,95; L = 0,83;</b> <b>DW = 2,30</b>	<b>W = 0,96; L = 2,35;</b> <b>DW = 2,69</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; <sup>2</sup> Medianas seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 0,05 de significância; W, L e DW: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>3</sup> Transformação logarítmica; <sup>4</sup> Transformação raiz quadrada; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

A aplicação via RPA foi caracterizada por gotas finas na parte superior e inferior da cultura, com DMV de 216,74 e 223,20  $\mu\text{m}$ , respectivamente. A aplicação terrestre apresentou gotas de espectro médio (261,75  $\mu\text{m}$ ) na parte superior da cultura e gotas finas na parte inferior (220,04  $\mu\text{m}$ ). O DMV gerado pela ponta de jato plano XR 11001 foi de 158,72  $\mu\text{m}$  na parte superior da cultura e 154,45  $\mu\text{m}$  na parte inferior, sendo as gotas caracterizadas como finas. A ponta jato plano com indução de ar AirMix 11001 apresentaram gotas médias na parte superior e inferior da cultura com DMV de 326,64 e 288,79  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Segundo os catálogos dos fabricantes, a ponta XR 11001 pode apresentar gotas muito finas a finas e a ponta AirMix 11001 gotas finas a grossas, dentro da faixa de trabalho da ponta. As gotas foram categorizadas baseado na classificação de espectro de gotas da *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE, 2009).

Parma *et al.* (2022) avaliando aplicações via RPA na cultura do feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) observaram que esse equipamento é mais efetivo na produção de gotas menores. Os autores descrevem que a pressão exercida pelo *downwash* decompõe as partículas das gotas em um tamanho menor. O que pode explicar o ocorrido neste trabalho na parte superior da cultura. Gibbs, Peters e Heck (2021) também verificaram menor tamanho médio de gota para a pulverização via RPA (102 a 182  $\mu\text{m}$  para o diâmetro médio geométrico) em comparação a aplicação terrestre (265 a 432  $\mu\text{m}$ ).

Li *et al.* (2021b) constataram que trabalhar com DMV na categoria de tamanho médio para uma RPA de pequena carga útil minimiza a produção de pequenas gotas propensas a deriva. Martin, Woldt e Latheef (2019) analisando o espectro de gotas em túnel de vento para diferentes pontas observaram o DMV de 161,4  $\mu\text{m}$  para a ponta XR 11001, valor bem próximo ao encontrado nesta pesquisa.

Os resultados, onde a ponta com indução de ar AirMix 11001 apresentou maior DMV (326,64 e 288,79  $\mu\text{m}$ ), já eram esperados em função do *design* da ponta, que permite a formação de gotas de tamanho maior mesmo sendo de mesma vazão nominal da ponta XR 11001. Isso acontece porque essas pontas apresentam câmaras de fluido com orifícios conectados ao exterior. Esses pequenos orifícios aspiram ar a calda devido ao efeito Venturi, o que diminui a pressão no orifício de saída e aumenta o tamanho das gotas (Cunha *et al.*, 2020). Gong, Li e Kang (2022) descrevem ainda que a inclusão de ar não é a única razão para a geração de gotas maiores. O comprimento e a área da lâmina da pulverização gerada pelas pontas de indução de ar são menores em função do rompimento das bolhas de ar, o que facilita a formação de gotas grandes.

Outros autores também encontraram essa mesma tendência. Massola *et al.* (2018) avaliando diferentes pontas de jato cônico (ATR-1.0 e TVI-800075) em diferentes pressões (500, 600 e 700 kPa), verificaram que independente da pressão de trabalho, a ponta com indução de ar apresentou maior DMV. Alves, Kruger e Cunha (2018) observaram que a ponta jato plano XR produziu gotas mais finas em relação a ponta jato plano com indução de ar AIXR para diferentes caldas. Creech *et al.* (2018) verificaram que a ponta XR apresentou pulverização com gotas finas (246-252  $\mu\text{m}$ ) para calda sem adjuvante, enquanto as pontas com indução de ar produziram gotas muito grossas a ultra grossa (465-808  $\mu\text{m}$ ).

O tamanho de gotas que seja adequado para a efetividade do controle pode ser variado. Gotas mais finas ou mais grossas podem ser utilizadas e indicadas em situações específicas. Atentando-se que gotas mais grossas podem não ultrapassar a barreira física das folhas da cultura, dificultando a penetração nas partes inferiores das plantas, e gotas muito finas podem ser mais suscetíveis à deriva. Segundo Wang *et al.* (2020), diminuir o tamanho das gotas pode otimizar a cobertura no alvo em taxas de aplicação mais baixas, como 15 L ha<sup>-1</sup>. Porém, isso não foi observado nesta pesquisa.

A homogeneidade do espectro de gotas foi caracterizada pela amplitude relativa (AR). Nesta pesquisa, não houve diferença significativa entre os tratamentos. O espectro de gotas homogêneo tem um valor de AR propendendo a zero (Souza *et al.*, 2022). Por meio dos resultados é possível observar uma menor amplitude espectral das gotas na parte inferior da cultura, pois os valores são menores (0,79 a 0,89). Zhang e Xiong (2021) citaram que valores inferiores a um (1) sugere uma estreita amplitude no tamanho das gotas. A flutuação espectral estreita das gotas pode ter como consequência uma aplicação mais facilmente controlada. Por exemplo, em uma aplicação que fosse requerido gotas próximas a 250  $\mu\text{m}$  e o espectro de gotas apresentassem uma boa homogeneidade, com AR inferior a um e DMV de 250  $\mu\text{m}$ , nesse caso, pode ser evitado perdas na aplicação, pois as gotas apresentariam valores próximos ao requerido.

Cao *et al.* (2021) observaram valores variando entre 0,32 a 0,97 para a amplitude relativa na aplicação via RPA na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). Rodrigues Neto *et al.* (2023) estudando a aplicação com diferentes taxas (77 e 144 L ha<sup>-1</sup>) verificaram que os espectros de gotas mais heterogêneos foram observados nas aplicações com o menor volume de aplicação (1,36 a 1,44). A justificativa foi que a concentração maior dos produtos nas taxas de aplicação mais baixa pode alterar as características físicas da calda e, conseqüentemente, na

homogeneidade das gotas. Como neste trabalho não foi adicionado produto fitossanitário a calda, não foi observado diferença entre as variadas taxas de aplicação (10 e 100 L ha<sup>-1</sup>).

Gotas com tamanho inferior a 100 µm de diâmetro apresentam uma colaboração significativa para as perdas por deriva. A deriva é caracterizada pelas gotas que não são depositadas no alvo. Vambol *et al.* (2020) descrevem que uma gota de 100 µm pode estar sujeita a desvios significativos. Os mesmos autores relatam ainda, que gotas de água com tamanho inferior a 150 µm evaporam cerca de 27% mais rápido do que gotas de maior tamanho que este. Isto ocorre em função da mudança no fluxo de ar que ocorre com as gotas menores. Acima de 150 µm, o fluxo de ar é separado da base da gota e não ocorre evaporação nesta área. Em contrapartida, o fluxo está envolvido ao redor das gotas com tamanho inferior a 150 µm, e a evaporação ocorre em toda a superfície.

As aplicações via RPA resultaram em maior porcentagem de volume de gotas menores de 100 µm, com mediana de 15,43% na parte superior da cultura e 10,95% de média na parte inferior. A aplicação com RPA normalmente gera gota mais fina com uma velocidade de voo mais rápida e distância do alvo maior, contribuindo para um considerável risco de deriva (Wang *et al.*, 2023c). Li *et al.* (2023) encontraram 25,98% de gotas menores de 100 µm para aplicação via RPA com a ponta SX11002VS em pomar de mangueira (*Mangifera indica* L.). A aplicação terrestre apresentou mediana de 4,47% de gotas menores de 100 µm na parte superior e 5,89% de média na parte inferior, indicando menor potencial de deriva.

Em relação as pontas de pulverização, a ponta XR 11001 apresentou maior porcentagem de gotas menores de 100 µm, com mediana de 15,68% na parte superior, e média de 15,23% na parte inferior. Com isso, a aplicação com a ponta AirMix 11001 apresenta menor potencial de deriva, inferior a 2%. Jomantas *et al.* (2023) observaram que as caldas com a ponta de jato plano com indução de ar (Lechler IDK 12004) reduziu a deriva. As aplicações com a ponta jato plano padrão (Lechler ST 11004) apresentaram um desvio de cerca de duas vezes maior. Resultado esperado, já que as gotas maiores são menos suscetíveis a corrente de ar. Com isso, se a eficácia não for reduzida, pontas que formam gotas mais grossas devem ser utilizadas nas aplicações (Brankov *et al.*, 2023).

Para que se tenha uma pulverização eficiente, a escolha e regulagem correta da aplicação se faz necessária, atentando-se que seja conforme as condições ambientais e características dos alvos. As escolhas corretas serão de acordo com a maior eficiência do tratamento fitossanitário e da redução da deriva (Amaral *et al.*, 2021). Ainda, os parâmetros da aplicação via RPA são multivariados, onde modelo do equipamento, alturas e direção de voo, velocidade de

deslocamento e pontas de pulverização são relevantes na qualidade da aplicação, onde diferentes autores (Hou *et al.*, 2019; Liao *et al.*, 2019; Martinez-Guanter *et al.*, 2020) encontraram respostas particulares para as situações estudadas. Nesse sentido, avaliando os resultados obtidos nesta pesquisa, a aplicação via RPA com a ponta AirMix 11001 poderia ser indicada para a pulverização. Contudo, deve-se atentar ao fato da aplicação via RPA apresentar maior potencial de deriva e baixa cobertura.



#### 4 CONCLUSÕES

Com a RPA a deposição foi maior, porém essa deposição apresentou maior variação ao longo dos pontos da parcela, mas mesmo com essa variação, não foi verificado comportamento de não aleatoriedade. A ponta AirMix 11001 apresentou maior destaque na deposição.

A maior taxa de aplicação, via pulverizador costal, apresentou a melhor cobertura do alvo, cerca de 10 vezes maior na parte superior da cultura, e na densidade de gotas. Este mesmo método de aplicação com a ponta AirMix 11001 apresentou melhor desempenho na cobertura na parte inferior da cultura. A ponta XR 11001 apresentou maior densidade de gotas independente da parte da planta estudada.

As aplicações com a ponta AirMix 11001 apresentaram maior DMV e menor potencial de deriva. A aplicação via RPA denotou menor DMV na parte superior da cultura em relação a aplicação terrestre.

## REFERÊNCIAS

- AAKASH; THAKUR, N. S.; SINGH, M. K.; BHAYAL, L.; MEENA, K.; CHOUDHARY, S. K.; KUMAWAT, N.; SINGH, R. K.; SINGH, U. P.; SINGH, S. K.; SANODIYA, P.; KUMAR, A.; SINGH, A. K. Sustainability in rainfed maize (*Zea mays* L.) production using choice of corn variety and nitrogen scheduling. **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 3116, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14053116>
- ABDELMOTALIB, H. M.; DAFSARI, R. A.; SEUNG-HWA, Y.; LEE, J. Computational study of internal flow characteristics of the air induction nozzle. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 204, p. 106578, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2021.106578>
- ALENGEBAWY, A.; ABDELKHALEK, S. T.; QURESHI, S. R.; WANG, M. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. **Toxics**, v. 9, n. 3, p. 42, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R. da. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 693-702, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000600005>
- AMARAL, L. R. do; ZERBATO, C.; FREITAS, R. G. de; BARBOSA JÚNIOR, M. R.; SIMÕES, I. O. P. da S. UAV applications in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 51, Special Agriculture 4.0, p. e20207748, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200091>
- AMARAL, F. S. A.; GUIDOLIN, A. S.; SALMERON, E.; KANNO, R. H.; PADOVEZ, F. E. O.; FATORETTO, J. C.; OMOTO, C. Geographical distribution of Vip3Aa20 resistance allele frequencies in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Pest Management Science**, v. 76, n. 1, p. 169-178, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5490>
- ARAKAWA, T.; KAMIO, S. Control efficacy of UAV-based ultra-low-volume application of pesticide in chestnut orchards. **Plants**, v. 12, n. 14, p. 2597, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12142597>
- ASABE. **ASABE S572. 1 Droplet size classification**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3 ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 247 p.
- BRANKOV, M.; VIEIRA, B. C.; ALVES, G. S.; ZARIC, M.; VUKOJA, B.; HOUSTON, T.; KRUGER, G. R. Adjuvant and nozzle effects on weed control using mesotrione and rimsulfuron plus thifensulfuron-methyl. **Crop Protection**, v. 167, p. 106209, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106209>

CAO, Y.; YU, F.; XU, T.; DU, W.; GUO, Z.; ZHANG, H. Effects of plant protection UAV-based spraying on the vertical distribution of droplet deposition on Japonica rice plants in Northeast China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 5, p. 27-34, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211405.5490>

CERRUTO, E.; MANETTO, G.; PAPA, R.; LONGO, D. Modelling spray pressure effects on droplet size distribution from agricultural nozzles. **Applied Sciences**, v. 11, n. 19, p. 9283, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11199283>

CHOJNACKI, J.; PACHUTA, A. Impact of the parameters of spraying with a small unmanned aerial vehicle on the distribution of liquid on young cherry trees. **Agriculture**, v. 11, n. 11, p. 1094, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11111094>

CIENIAWSKA, B.; PENTOS, K.; SZULC, T. Correlation and regression analysis of spraying process quality indicators. **Applied Sciences**, v. 12, n. 23, p. 12034, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122312034>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos safra 2023/2024. Brasília**: Conab, v. 11, n. 7, p. 69-89, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em 16 de abr. 2024.

CREECH, C. F.; HENRY, R. S.; HEWITT, A. J.; KRUGER, G. R. Herbicide spray penetration into corn and soybean canopies using air-induction nozzles and a drift control adjuvant. **Weed Technology**, v. 32, n. 1, p. 72-79, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2017.84>

CUNHA, J. P. A. R. da; FRANÇA, J. A. L.; ALVARENGA, C. B. de; ALVES, G. S.; ANTUNIASSI, U. R. Performance of air induction spray nozzle models under different operating conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 711-718, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n6p711-718/2020>

CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217862, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>

CUNHA, T. G. da; VELOSO, R. V. dos S.; ARAÚJO, M. M. M. de; TAVARES, L. G.; RIBEIRO, L. F. B.; TORMEN, G. P.; CAMPOS, D. S.; PIKANÇO, M. C.; LOPES, E. A.; PEREIRA, R. R.; SOARES, M. A.; SILVA, R. S. da. Distribution of *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: Cicadellidae) and incidence of maize rayado fino virus and *Candidatus* Phytoplasma asteris in corn succession planting systems. **Pest Management Science**, v. 79, n. 7, p. 2325-2337, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7408>

DA SILVA COLLA, R. E.; FERREIRA DE LIMA, S.; VENDRUSCOLO, E.; ANDRADE SECCO, V.; PIATI, G. L.; FELICIANO DOS SANTOS, O. Does foliar nicotinamide application affect second crop corn (*Zea mays*)? **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 2, p. 64-70, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48162/rev.39.040>

DAFSARI, R. A.; YU, S.; CHOI, Y.; LEE, J. Effect of geometrical parameters of air-induction nozzles on droplet characteristics and behaviour. **Biosystems Engineering**, v. 209, p. 14-29, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.06.013>

DE CAUWER, B.; DE MEUTER, I.; DE RYCK, S.; DEKEYSER, D.; ZWERTVAEGHER, I.; NUYTENS, D. Performance of drift-reducing nozzles in controlling small weed seedlings with contact herbicides. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1342, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051342>

DJI. **AGRAS MG-1P User Manual**. V. 1.0, 2018. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/mg\\_1p/20181108/MG-1P\\_Series\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN\\_.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/mg_1p/20181108/MG-1P_Series_User_Manual_v1.0_EN_.pdf). Acesso em 19 de abril de 2023.

DOAN, V.; LUC, V.; NGUYEN, T. L.; NGUYEN, T.; NGUYEN, T. Utilizing waste corn-cob in biosynthesis of noble metallic nanoparticles for antibacterial effect and catalytic degradation of contaminants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 6, p. 6148-6162, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07320-2>

DONG, S.; GUI, Q.; ZHU, L.; ZOU, X.; ZHOU, W.; HOU, R.; MORAY, P.; YIN, C. CFD-based pesticide selection for a nozzle used in a six-rotor UAV in hover mode for tea spraying. **Pest Management Science**, v. 79, n. 5, p. 1963–1976, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7371>

DORUCHOWSKI, G.; ŚWIECHOWSKI, W.; MASNY, S.; MACIESIAK, A.; TARTANUS, M.; BRYK, H.; HOŁOWNICKI, R. Low-drift nozzles vs. standard nozzles for pesticide application in the biological efficacy trials of pesticides in apple pest and disease control. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 1239-1246, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.200>

FERGUSON, J. C.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v. 81, p. 14-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.013>

FERREIRA, N. C. R.; MIRANDA, J. H. Potential occurrence of *Puccinia sorghi* in corn crops in Paraná, under scenarios of climate change. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 7, p. 1051-1062, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01880-6>

FRANCISCHINI, F. J. B.; CORDEIRO, E. M. G.; CAMPOS, J. B. de; ALVES-PEREIRA, A.; VIANA, J. P. G.; WU, X.; WEI, W.; BROWN, P.; JOYCE, A.; MURUA, G.; FOGLIATA, S.; CLOUGH, S. J.; ZUCCHI, M. I. *Diatraea saccharalis* history of colonization in the Americas. The case for human-mediated dispersal. **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, p. e0220031, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220031>

GIBBS, J. L.; PETERS, T. M.; HECK, L. P. Comparison of droplet size, coverage, and drift potential from UAV application methods and ground application methods on row crops.

**Transactions of the ASABE**, v. 64, n. 3, p. 819-828, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14121>

GONG, C.; LI, D.; KANG, C. Visualization of the evolution of bubbles in the spray sheet discharged from the air-induction nozzle. **Pest Management Science**, v. 78, n. 5, p. 1850-1860, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6803>

GRELLA, M.; MARUCCO, P.; ZWERTVAEGHER, I.; GIOELLI, F.; BOZZER, C.; BIGLIA, A.; MANZONE, M.; CAFFINI, A.; FOUNTAS, S.; NYUTTENS, D.; BALSARI, P. The effect of fan setting, air-conveyor orientation and nozzle configuration on airblast sprayer efficiency: Insights relevant to trellised vineyards. **Crop Protection**, v. 155, p. 105921, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105921>

GUO, S.; LI, J.; YAO, W.; HU, X.; WEI, X.; LONG, B.; WU, H.; LI, H. Optimization of the factors affecting droplet deposition in rice fields by rotary unmanned aerial vehicles (UAVs). **Precision Agriculture**, v. 22, n. 6, p. 1918-1935, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09818-7>

GUO, S.; YAO, W.; XU, T.; MA, H.; SUN, M.; CHEN, C.; LAN, Y. Assessing the application of spot spray in Nanguo pear orchards: Effect of nozzle type, spray volume rate and adjuvant. **Pest Management Science**, v. 78, n. 8, p. 3564-3575, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6999>

HADIAN, H.; RAHIMIFARD, A. Multivariate statistical control chart and process capability indices for simultaneous monitoring of project duration and cost. **Computers & Industrial Engineering**, v. 130, p. 788-797, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.021>

HOŁOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; ŚWIECHOWSKI, W.; KONOPACKI, P.; GODYŃ, A. Effect of Nozzle Type and Adjuvants on Spray Coverage on Apple Leaves. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1790, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091790>

HONG, S.; ZHAO, L.; ZHU, H. CFD simulation of airflow inside tree canopies discharged from air-assisted sprayers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 149, p. 121-132, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.011>

HORIKOSHI, R. J.; FERRARI, G.; DOURADO, P. M.; CLIMACO, J. L.; VERTUAN, H. V.; EVANS, A.; PLEAU, M.; MORRELL, K.; JOSÉ, M. O. M. A., ANDERSON, H., MARTINELLI, S.; OVEJERO, R. F. L.; BERGER, G. U.; HEAD, G. MON 95379 *Bt* maize as a new tool to manage sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) in South America. **Pest Management Science**, v. 78, n. 8, p. 3456-3466, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6986>

HOU, C.; TANG, Y.; LUO, S.; LIN, J.; HE, Y.; ZHUANG, J.; HUANG, W. Optimization of control parameters of droplet density in citrus trees using UAVs and the Taguchi method. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 4, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/ijabe.v12i4.4139>

HUNTER, J. E.; GANNON, T. W.; RICHARDSON, R. J.; YELVERTON, F. H.; LEON, R. G. Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide

applications using an unmanned aerial sprayer. **Weed Technology**, v. 34, n. 2, p. 235-240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>

HUSSAIN, M.; WANG, Z.; HUANG, G.; MO, Y.; KAOUSAR, R.; DUAN, L.; TAN, W. Comparison of droplet deposition, 28-homobrassinolide dosage efficacy and working efficiency of the unmanned aerial vehicle and knapsack manual sprayer in the maize field. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 385, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020385>

JOMANTAS, T.; LEKAVIČIENĖ, K.; STEPONAVIČIU, D.; ANDRIUŠIS, A.; ZALECKAS, E.; ZINKEVIČIUS, R.; POPESCU, C. V.; SALCEANU, C.; IGNATAVIČIU, J.; KEMZURAITĖ, A. The influence of newly developed spray drift reduction agents on drift mitigation by means of wind tunnel and field evaluation methods. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 349, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020349>

JUÁREZ, M. L.; MURÚA, M. G.; GARCÍA, M. G.; ONTIVERA, M.; VERA, M. T.; VILARDI, J. C.; GROOT, A. T.; CASTAGNARO, A. P.; GASTAMINZA, G.; WILLINK, E. Host Association of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Corn and Rice Strains in Argentina, Brazil, and Paraguay. **Journal of Economic Entomology**, v. 105, n. 2, p. 573-582, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC11184>

KASBI, M. K.; DAFSARI, R. A.; CHARANANDEH, A.; YU, S.; CHOI, Y.; LEE, J. Parametric study on the internal geometry affecting agricultural air induction nozzle performance. **Physics of Fluids**, v. 35, n. 2, p. 023316, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0134893>

LEWIS, M. T.; HAMBY, K. A. Optimizing caneberry spray coverage for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) management on diversified fruit farms. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 6, p. 2820-2831, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toaa237>

LI, L.; HU, Z.; LIU, Q.; YI, T.; HAN, P.; ZHANG, R.; PAN, L. Effect of flight velocity on droplet deposition and drift of combined pesticides sprayed using an unmanned aerial vehicle sprayer in a peach orchard. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 981494, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.981494>

LI, S.; CHEN, C.; WANG, Y.; KANG, F.; LI, W. Study on the atomization characteristics of flat fan nozzles for pesticide application at low pressures. **Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 309, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040309>

LI, X.; GILES, D. K.; ANDALORO, J. T.; LONG, R.; LANG, E. B.; WATSON, L. J.; QANDAH, I. Comparison of UAV and fixed-wing aerial application for alfalfa insect pest control: evaluating efficacy, residues, and spray quality. **Pest Management Science**, v. 77, n. 11, p. 4980-4992, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6540>

LI, Y.; HAN, L.; LIU, L.; HUANG, Z.; WANG, C.; HE, X. Design and spray performance evaluation of an air-ground cooperation stereoscopic plant protection system for mango orchards. **Agronomy**, v. 13, n. 8, p. 2007, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13082007>

LIAO, J.; ZANG, Y.; LUO, X.; ZHOU, Z.; LAN, Y.; ZANG, Y.; GU, X.; XU, W.; HEWITT, A. J. Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 12, n. 2, p. 10-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/ijabe.v12i2.4288>

LIMA, L. M.; BASTOS, M. S.; ÁVILA, C. L. S.; FERREIRA, D. D.; CASAGRANDE, D. R.; BERNARDES, T. F. Factors determining yield and nutritive value of maize for silage under tropical conditions. **Grass and Forage Science**, v. 77, n. 3, p. 201-215, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12575>

MAHMOOD, T.; IQBAL, A.; ABBASI, S. A.; AMIN, M. Efficient GLM-based control charts for Poisson processes. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 38, n. 1, p. 389-404, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.2985>

MARQUES, L. H.; SANTOS, A. C.; CASTRO, B. A.; MOSCARDINI, V. F.; ROSSETO, J.; SILVA, O. A. B. N.; BABCOCK, J. M. Assessing the efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Bt) pyramided proteins Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2, and Vip3Aa20 expressed in Bt maize against lepidopteran pests in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 2, p. 803-811, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy380>

MARTIN, D. E.; WOLDT, W. E.; LATHEEF, M. A. Effect of application height and ground speed on spray pattern and droplet spectra from remotely piloted aerial application systems. **Drones**, v. 3, n. 4, p. 83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040083>

MARTINEZ-GUANter, J.; AGÜERA, P.; AGÜERA, J.; PÉREZ-RUIZ, M. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 226-243, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09665-7>

MASSOLA, M. P.; HOLTZ, V.; MARTINS, M. P. de O.; UMBELINO, A. da S.; REIS, E. F. dos. Spray volume distribution pattern and droplet size spectrum from ceramic nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 804-809, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p804-809>

MCCOY, M. L.; HOHEISEL, G.; KHOT, L. R.; MOYER, M. M. Adjusting air-assistance and nozzle style for optimized airblast sprayer use in eastern Washington vineyards. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 6, n. 1, p. 9-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5344/catalyst.2021.21001>

MENGER, R. F.; BONTHA, M.; BEVERIDGE, J. R.; BORCH, T.; HENRY, C. S. Fluorescent dye paper-based method for assessment of pesticide coverage on leaves and trees: A citrus grove case study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 47, p. 14009-14014, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01835>

MINITAB Inc. MINITAB®. Version 16.2, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 555 p.

MORAIS, A. R. de. **Estatística Experimental**: uma introdução aos delineamentos e análise de experimento. Lavras: Ed. UFLA, 2001. 197 p.

MUR, M.; PONCE, M. J.; VÁZQUEZ, J. M.; GUILINO, F.; MERANI, V. H.; PALANCAR, T.; BALBUENA, R. H. Aplicación de agroquímicos en cultivos de soja (*Glycine max* L Merr); evaluación del efecto de diferentes técnicas sobre la eficiencia de distribución. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 117, n. 1, p. 77-88, 2018. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70913>. Acesso em: 1 set. 2023.

NANSEN, C.; VILLAR, G. D.; RECALDE, A.; ALVARADO, E.; CHENNAPRAGADA, K. Phone app to perform quality control of pesticide spray applications in field crops. **Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 916, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11100916>

OLIVEIRA, C. M. de; FRIZZAS, M. R. Eight decades of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera, Cicadellidae) in Brazil: what we know and what we need to know. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 1, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00932-9>

OSORIO-SANTIAGO, V. J.; AGUADO-RODRÍGUEZ, G. J.; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, N.; RODRÍGUEZ-ORTEGA, L. T.; ALVITER-AGUILAR, A.; ORTEGA, A. R. Corn (*Zea mays* L.) green matter production in different sowing densities: production of green matter os corn (*Zea mays* L.). **Agro Productividad**, v. 15, n. 4, p. 113-118, 2022. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2170>

PARMA, R. P.; SINGH, S. K.; SINGH, M.; VERMA, A. On-farm assessment of unmanned aerial vehicle (UAV) based spraying technology in green gram. **Indian Journal of Entomology**, v. 84, n. 2, p. 286-289, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55446/IJE.2021.18>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Ed. Nobel, 2000. 467 p.

R CORE TEAM. **The R Foundation for Statistical Computing Platform**. R Version, v. 4, 2020.

REDDY MADDIKUNTA, P. K.; HAKAK, S.; ALAZAB, M.; BHATTACHARYA, S.; GADEKALLU, T. R.; KHAN, W. Z.; PHAM, Q. Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: applications, requirements, and challenges. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, n. 16, p. 17608-17619, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3049471>

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C. A.; SOMCHIT, C.; DUNKER, C.; STRAND, T. M.; KIMBERLEY, M. O. Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. **Pest Management Science**, v. 76, n. 4, p. 1282-1290, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5638>



RODRIGUES, E. de A. S.; LIMA, S. do C. Associação entre a incidência do levantamento de índice rápido de *Aedes aegypti* (liraa) e as condições climáticas em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, entre 2014 a 2016. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 72, p. 251-263, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207245265>

RODRIGUES NETO, A. D.; RIBEIRO, N. A. A.; OLIVEIRA, F. A. da S. e.; FARIA, G. A.; PRADO, E. P. Droplet spectrum characteristics and drift potential of different droplet classes and spray volumes application of atrazine with nicosulfuron. **Ciência Rural**, v. 53, n. 12, p. e20220509, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220509>

SAYINCI, B.; DEMIR, B.; AÇIK, N. Estimation of droplet density and spray characteristics in sprayer nozzles. **Yüzüncü Yil Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences**, v. 29, n. 3, p. 458-465, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.573698>

SEMEALI. **Catálogo Milho XB6016 VIP3**. SEMEALI SEMENTES, 2022. Disponível em: <https://apenasteste.1309agrocom.com.br/produtos/xb6016-vip3/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SHAN, C.; WANG, G.; WANG, H.; XIE, Y.; WANG, H.; WANG, S.; CHEN, S.; LAN, Y. Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 74-81, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6129>

SHAN, C.; WU, J.; SONG, C.; CHEN, S.; WANG, J.; WANG, H.; WANG, G.; LAN, Y. Control efficacy and deposition characteristics of an unmanned aerial spray system low-volume application on corn fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 900939, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.900939>

SHOUJI, C.; DAFSARI, R. A.; YU, S.; CHOI, Y.; LEE, J. Mean and turbulent flow characteristics of downwash air flow generated by a single rotor blade in agricultural drones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, p. 106471, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106471>

SICA, P.; PRADO, L. M. L. M.; GRANJA, P.; CARVALHO, E. M. de; MATTOS, E. de C.; CALEGARI, R. P.; SILVERIO, M.; MARTINS, B. C.; BAPTISTA, A. S. Effects of energy cane (*Saccharum* spp.) juice on corn ethanol (*Zea mays*) fermentation efficiency: integration towards a more sustainable production. **Fermentation**, v. 7, n. 1, p. 30, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7010030>

SIJS, R.; KOUIJ, S.; BONN, D. Droplet size from Venturi air induction spray nozzles. **Experiments in Fluids**, v. 64, n. 2, p. 43, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00348-023-03582-2>

SILVA VIANA, R. L.; FIDÉLIS, G. P.; MEDEIROS, M. J. C.; MORGANO, M. A.; ALVES, M. G. C. F.; PASSERO, L. F. D.; PONTES, D. L.; THEODORO, R. C.; ARANTES, T. D.; SABRY, D. A.; SASSAKI, G. L.; MELO-SILVEIRA, R. F.; ROCHA, H. A. O. Green synthesis of antileishmanial and antifungal silver nanoparticles using corn cob xylan as a reducing and stabilizing agent. **Biomolecules**, v. 10, n. 9, p. 1235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10091235>

SINGH, A.; DHIMAN, N.; KAR, A. K.; SINGH, D.; PUROHIT, M. P.; GHOSH, D.; PATNAIK, S. Advances in controlled release pesticide formulations: Prospects to safer integrated pest management and sustainable agriculture. **Journal of Hazardous Materials**, v. 385, p. 121525, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121525>

SOUZA, F. G.; PORTES, M. F.; SILVA, M. V.; TEIXEIRA, M. M.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Impact of sprayer drone flight height on droplet spectrum in mountainous coffee plantation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 12, p. 901-906, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p901-906>

TUDI, M.; DANIEL RUAN, H.; WANG, L.; LYU, J.; SADLER, R.; CONNELL, D.; CHU, C.; PHUNG, D. T. Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, p. 1112, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>

VAMBOL, S.; KHAN, N. A.; KHAN, A. H.; KIRIYENKO, M.; BORYSOVA, L.; TARADUDA, D.; ZAKORA, A.; BILOTSEKIVSKA, N. Developed jet-centrifugal spray devices: experimental testing to establish the possibility of their application in plants spraying technologies. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 102, n.1, p. 30-41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.6326>

VELUSAMY, P.; RAJENDRAN, S.; MAHENDRAN, R. K.; NASEER, S.; SHAFIQ, M.; CHOI, J. Unmanned aerial vehicles (UAV) in precision agriculture: applications and challenges. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 217, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15010217>

VERA-VACA, C. V.; ACOSTA-LÚA, C.; PÉREZ-CRUZ, J. H.; VACA-GARCÍA, C. C. Determination of flight parameters of a sprayer UAV according to the disease in corn crops at the reproductive stage. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2023, p. e9932885, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/9932885>

WANG, C.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; HAN, L.; LI, Y.; ZHANG, H.; WONGSUK, S.; LI, Y.; WU, X.; HE, X. Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2449-2466, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6875>

WANG, C.; WONGSUK, S.; HUANG, Z.; YU, C.; HAN, L.; ZHANG, J.; SUN, W.; ZENG, A.; HE, X. Comparison between drift test bench and other techniques in spray drift evaluation of an eight-rotor unmanned aerial spraying system: the influence of meteorological parameters and nozzle types. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 270, 2023c. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010270>

WANG, D.; SALEH, N. B.; BYRO, A.; ZEPP, R.; SAHLE-DEMESSIE, E.; LUXTON, T. P.; HO, K. T.; BURGESS, R. M.; FLURY, M. WHITE, J. C. SU, C. Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. **Nature Nanotechnology**, v. 17, n. 4, p. 347-360, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41565-022-01082-8>

WANG, G.; HAN, Y.; LI, X.; ANDALORO, J.; CHEN, P.; HOFFMANN, W. C.; HAN, X.; CHEN, S.; LAN, Y. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an

agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science of The Total Environment**, v. 737, p. 139793, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>

WANG, G.; LAN, Y.; YUAN, H.; QI, H.; CHEN, P.; OUYANG, F.; HAN, Y. Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. **Applied Sciences**, v. 9, n. 2, p. 218, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9020218>

WANG, G.; WANG, J.; CHEN, P.; HAN, X.; CHEN, S.; LAN, Y. Droplets deposition and harvest-aid efficacy for UAV application in arid cotton areas in Xinjiang, China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 15, n. 5, p. 9-18, 2022c.

WANG, X.; ZHANG, Y.; HU, H.; LIU, B.; WANG, F.; ZHANG, Y.; WANG, W.; LI, X.; XU, W. Evaluation of the droplet deposition and control effect of a special adjuvant for unmanned aerial vehicle (UAV) sprayers. **Journal of Pesticide Science**, v. 48, n. 3, p. 78-85, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.1584/jpestics.D22-048>

WANG, Z.; HUSSAIN, M.; YIN, J.; YUAN, M.; MO, Y.; QUAN, M.; DUAN, L.; TAN, W. Analysis of droplet deposition and maize (*Zea mays* L.) growth control: Application of ethephon by small unmanned aerial vehicle and electric knapsack sprayer. **Field Crops Research**, v. 292, p. 108822, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108822>

XU, F.; DENG, X. Joint diagnosis of process mean vector and covariance matrix for multivariate statistical process control. **Computers & Industrial Engineering**, v. 179, p. 109222, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109222>

XU, S.; WANG, F.; FU, Y.; LI, D.; SUN, X.; LI, C.; SONG, B.; LI, Y. Effects of mixed agro-residues (corn crop waste) on lignin-degrading enzyme activities, growth, and quality of *Lentinula edodes*. **RSC Advances**, v. 10, n. 17, p. 9798-9807, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9RA10405D>

YANG, Z.; YU, J.; DUAN, J.; XU, X.; HUANG, G. Optimization-design and atomization-performance study of aerial dual-atomization centrifugal atomizer. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 430, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020430>

YONGJUN, Z.; SHENGHUI, Y.; CHUNJIANG, Z.; LIPING, C.; LAN, Y.; YU, T. Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 57-66, 2017.

ZHAN, Y.; CHEN, P.; XU, W.; CHEN, S.; HAN, Y.; LAN, Y.; WANG, G. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. **Biosystems Engineering**, v. 216, p. 32-45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016>

ZHANG, B.; TANG, Q.; CHEN, L.; ZHANG, R.; XU, M. Numerical simulation of spray drift and deposition from a crop spraying aircraft using a CFD approach. **Biosystems Engineering**, v. 166, p. 184-199, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017>

ZHANG, H.; WEN, S.; CHEN, C.; LIU, Q.; XU, T.; CHEN, S.; LAN, Y. Downwash airflow field distribution characteristics and their effect on the spray field distribution of the DJI T30 six-rotor plant protection UAV. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 16, n. 2, p. 10-22, 2023.

ZHANG, X.; XIONG, L. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 619, p. 126557, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126557>

ZHANG, X.; SONG, X.; LIANG, Y.; QIN, Z.; ZHANG, B.; WEI, J.; LI, Y.; WU, J. Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. **Sugar Tech**, v. 22, n. 4, p. 583-588, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00792-z>

ZHU, H.; SALYANI, M.; FOX, R. D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 38-43, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.003>

## CAPÍTULO 4

Aplicação de glifosato via aeronave remotamente pilotada e pulverizador terrestre com diferentes pontas de pulverização para o controle de *Urochloa decumbens*

## **Aplicação de glifosato via aeronave remotamente pilotada e pulverizador terrestre com diferentes pontas de pulverização para o controle de *Urochloa decumbens***

### **RESUMO**

As aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) se apresentam como um método de aplicação de produtos fitossanitários, porém ainda falta conhecimento científico desta tecnologia, visto os diferentes locais, alvo e produtos aplicados. Logo, o trabalho objetivou avaliar aplicações de glifosato via RPA e pulverizador terrestre, equipados com diferentes pontas de pulverização, e verificar a eficácia das aplicações no controle de *Urochloa decumbens*. Para isso, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram os métodos de aplicação, aéreo (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) e terrestre (pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>), e as pontas de jato plano padrão XR 11001 e jato plano com indução de ar AirMix 11001. Foram avaliados a deposição, quantificada por meio de um traçador (Azul Brillhante) presente na calda, o espectro de gotas, através da análise do papel hidrossensível, e a eficácia de controle, a partir da aferição visual com pontuação percentual. Também foi realizado o estudo da qualidade de aplicação empregando a metodologia do Controle Estatístico de Processo. O ensaio em campo e as análises posteriores foram realizados em uma área com infestação de *Urochloa decumbens* na fazenda experimental do Campus Glória e no laboratório de mecanização agrícola, da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). Os resultados mostraram que a aplicação via RPA apresentou maior deposição de calda que a aplicação terrestre, aparecendo como uma boa opção como método de aplicação, mesmo proporcionando uma menor cobertura e densidade de gotas. Os dois métodos de aplicação foram eficazes no controle da planta daninha *Urochloa decumbens*. As pontas utilizadas apresentaram potencial para uso nas aplicações, com controle igual ou superior a 85% a partir dos 21 dias após aplicação. A deposição, cobertura e amplitude relativa não apresentaram diferença significativa entre as pontas. A porcentagem do volume de gotas inferiores a 100 µm nas aplicações foi inferior a 5%. Na deposição, para todas as aplicações, não foi verificado comportamento de não aleatoriedade, mostrando um processo de qualidade.

**Palavras-chave:** *Brachiaria*; eficácia de controle; proteção de culturas.

**Application of glyphosate by remotely piloted aircraft and ground sprayer with different spray nozzles for the control of *Urochloa decumbens***

**ABSTRACT**

Remotely piloted aircraft (RPAs) are presented as a method of spraying pesticides, but there is still a lack of scientific knowledge of this technology, given the different locations, targets and products applied. Therefore, the work aimed to evaluate glyphosate applications with RPA and ground sprayer, equipped with different spray nozzles, and verify the effectiveness of the applications in controlling *Urochloa decumbens*. For this, the experiment was conducted in a completely randomized design, with four treatments and eight replications. The treatments were the application methods, aerial (RPA, 10 L ha<sup>-1</sup>) and ground (backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub>, 100 L ha<sup>-1</sup>), and the standard XR 11001 flat fan nozzles and flat fan with air induction AirMix 11001. Deposition was evaluated, quantified using a tracer (Brilliant Blue) present in the spray, and the droplet spectrum, through the analysis of water-sensitive paper, and the control effectiveness, based on visual measurement with a percentage score, were evaluated. An application quality study was also carried out using the Statistical Process Control methodology. The field trial and subsequent analyzes were carried out in an area with *Urochloa decumbens* infestation on the experimental farm at Campus Glória and in the agricultural mechanization laboratory at the Federal University of Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais). The results showed that the application via RPA presented greater deposition of spray than the ground application, appearing as a good option as an application method, even providing lower coverage and droplet density. Both application methods were effective in controlling the weed *Urochloa decumbens*. The nozzles used in the application showed potential for use in applications, with control equal to or greater than 85% from 21 days after application. Deposition, coverage and relative amplitude did not show significant differences between the nozzles. The volume percentage of droplets smaller than 100 µm in the applications was less than 5%. During deposition, for all applications, non-random behavior was not verified, showing a quality process.

**Keywords:** *Brachiaria*; control effectiveness; crop protection.

## 1 INTRODUÇÃO

O capim-braquiária [*Urochloa decumbens* (Syn. *Brachiaria decumbens*)] é uma gramínea perene advinda da África tropical (Apollon *et al.*, 2022). É uma espécie de planta daninha com bastante relevância nas culturas agrícolas em função da sua alta aptidão adaptativa e dificuldade no manejo. Em áreas de cultivo agrícola, essas plantas podem causar problemas significativos, pois competem por água, luz, espaço e nutrientes, além de atuar como hospedeira de pragas e patógenos comuns às culturas e intervir na colheita (Fialho *et al.*, 2020; Moraes *et al.*, 2019).

Dessa forma, as plantas daninhas prejudicam o desenvolvimento das culturas de interesse, podendo resultar em menor produtividade dessas culturas (Silva *et al.*, 2021). Segundo Garrido, Dayan e Kolb (2023), as perdas no rendimento das colheitas e o aumento nos custos de produção agrícola causados pelas plantas daninhas é o maior em comparação com qualquer outra praga agrícola no mundo. Para se ter uma ideia, um estudo de Adeux *et al.* (2019) demonstrou, em três anos de acompanhamento, uma perda variando entre 19% e 56%, no rendimento de grãos de cereais quando comparada as áreas sem a presença de plantas daninhas.

As gramíneas invasoras do gênero *Urochloa* intervêm de forma severa e atingem elevada cobertura, o que inibe a germinação e o desenvolvimento de espécies nativas (Esteves *et al.*, 2023; Mano; Lopes; Piedade, 2023) prejudicando, por exemplo, o processo de recuperação de áreas ambientalmente degradadas. Essa dominação pode ser justificada pelo seu rápido crescimento, taxas fotossintéticas elevadas, adaptabilidade a solos pobres em nutrientes e produção elevada de sementes (Faria; Fernandes; França, 2015; Ribeiro *et al.*, 2012).

Visto as problemáticas levantadas, realizar o controle de plantas daninhas é de crucial importância para a produção agrícola. O manejo dessa praga se dá predominantemente por meio da aplicação de herbicidas (Vasileiou *et al.*, 2024) em função da relação de custo e eficiência no controle (Zhang *et al.*, 2024). Os mesmos autores ressaltam a importância em determinar a maneira de utilização dos herbicidas registrados de forma mais eficiente e imprimir esforços para desenvolver novos métodos de aplicação com novos equipamentos.

No que se refere aos herbicidas, a classe química e as doses que são empregadas nos agroecossistemas estão associadas a especificidade da cultura, espécies de plantas daninhas e práticas culturais (Ueno; Vila-Aiub; Gundel, 2024). O glifosato [N-(fosfometil)glicina] é um dos herbicidas mais empregados, de ação sistêmica de amplo espectro (Castro Berman *et al.*, 2018; Kimbi Yaah *et al.*, 2024). É composto de fosfonato e o mecanismo de ação se dá pela



inibição da via do chiquimato por meio da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) encontrada nas plantas (Badani; Djadouni; Haddad, 2023; Wei *et al.*, 2024), interferindo na biossíntese de aminoácidos aromáticos (Sazykin *et al.*, 2024). É um herbicida não seletivo às culturas convencionais, que não foram modificadas geneticamente para serem tolerantes (Wang; Rivenbark; Phillips, 2024), com aplicação pós-emergência da planta alvo.

A eficácia dos produtos fitossanitários no controle da praga depende veementemente de a aplicação atingir o alvo na quantidade desejada. E quando existe a perda, com o movimento das gotas pulverizadas para área não alvo, levadas pela corrente de ar, por exemplo, é chamada deriva, e sua minimização é de grande preocupação para garantir a saúde do operador e proteger o meio ambiente (Renaudo; Bertin; Bucalá, 2022). Além da quantidade citada anteriormente, a qualidade da deposição também é fundamental para melhorar o desempenho no controle das pragas (Buosi *et al.*, 2023). Com isso, o sistema de pulverização, que gera e transporta as gotas a serem aplicadas com os princípios ativos para o alvo pretendido, apresenta grande impacto na eficiência e eficácia da aplicação (Xun *et al.*, 2023).

A seleção apropriada do equipamento e a sua técnica de aplicação são fundamentais para o controle bem-sucedido, onde o produto deve atingir o alvo de maneira adequada. Com o passar dos anos vem surgindo novos sistemas e equipamentos nessa área, com diferentes tecnologias, mas as suas vantagens, aplicabilidades e características precisam ser entendidas e demonstradas. Uma dessas tecnologias que surgiu é a aeronave remotamente pilotada (RPA) utilizada para a aplicação de produtos fitossanitários. É uma aeronave não tripulada que consiste em uma plataforma de voo, controle de voo de navegação e um mecanismo de pulverização. Podem ser operadas manualmente por controle remoto ou automaticamente por sistema de posicionamento global (GPS) com voos previamente programados (Wang *et al.*, 2022a).

As RPAs apresentam grande potencial na cobertura de áreas de difícil acesso para máquinas de pulverização terrestres e aeronaves tripuladas (Hafeez *et al.*, 2023). Segundo Xu, Yu e Xue (2023), o uso de RPAs para aplicações de produtos fitossanitários alcança bons resultados no controle de pragas e progressivamente se torna um dos meios empregados devido à sua baixa demanda manual, precisão de pulverização, uniformidade de distribuição e fácil operação. E ainda, como ultrapassa os limites de altura da cultura, dificilmente causará algum dano mecânico a mesma (Zhang *et al.*, 2018).

As RPAs de asa rotativa apresentam boa manobrabilidade, capacidade de decolagem e pouso verticais, dispensando pista de pouso e decolagem, e como são controladas remotamente, a operação pode se dar a uma certa distância da área de aplicação, o que resolve o problema

relacionado a exposição dos operadores aos produtos (Huang *et al.*, 2023), colaborando com a saúde do trabalhador. Durante a aplicação, as gotas são depositadas abaixo da aeronave sob a influência do fluxo de ar descente do rotor (Zhan *et al.*, 2022). Esse fluxo de ar (*downwash*) é definido como a deflexão da corrente de ar em função da ação aerodinâmica das pás da hélice, como parte do processo de sustentação da RPA, onde as características do *downwash* são particulares para as diferentes RPAs em função das características do modelo (Ismail *et al.*, 2021). Cavalaris, Karamoutis e Markinos (2022) corroboram e acrescentam descrevendo que o número de rotores, a potência do motor e o design do rotor, a posição e o tipo de pontas utilizadas podem interferir na faixa efetiva de aplicação e na deposição de gotas no alvo.

A correta deposição da calda no alvo depende da distribuição satisfatória fornecida pelas pontas (Griesang *et al.*, 2022). Elas são projetadas para controlar as características e a direção da pulverização da calda (Brankov *et al.*, 2023). As pontas tipo jato plano são uma escolha comum para diversas aplicações, podem apresentar recursos que incluem faixa estendida, indução de ar e pré-orifício. As pontas de faixa estendida são empregadas frequentemente, essas pontas podem trabalhar em ampla faixa de pressão e apresentam tamanho de gotas mais finas, que se correlacionam com uma melhor retenção de gotas pelo alvo (Thornton; Deveau; Trueman, 2023), pois gotas mais finas podem propiciar melhor cobertura (Wang *et al.*, 2023a).

O tamanho das gotas intervém na qualidade da calda depositada, além da perda por deriva. A redução do número de gotas finas pode diminuir o potencial da exoderiva da aplicação (Milanowski *et al.*, 2022). Nesse sentido, pode se fazer o uso de pontas com indução de ar. Essas pontas são capazes de produzir gotas com tamanhos maiores, quando comparadas a pontas sem indução de ar de mesma vazão. A estrutura da ponta conta com um pré-orifício, estreitamento do sistema Venturi, orifícios de sucção de ar, câmara de mistura (tubo de mistura e seção difusora) e orifício de saída. A indução do ar acontece pelo arrastamento devido à diferença de pressão interna (Vashahi *et al.*, 2017). A seleção correta do tamanho de gota é a chave para reduzir a quantidade de reaplicações e melhorar o efeito de prevenção e controle (Cong *et al.*, 2022). No entanto, faltam pesquisas com RPAs que utilizem pontas com indução de ar para realizar o controle, bem como sua relação com a eficácia de controle. Fazendo-se necessários, portanto, estudos para verificar o desempenho dessa aplicação e comparar as diferenças com pontas convencionais (Yu; Kang; Lee, 2023).

Com isso, o trabalho objetivou avaliar aplicações de glifosato via RPA e pulverizador terrestre, equipados com diferentes pontas de pulverização, e verificar a eficácia das aplicações no controle de *Urochloa decumbens*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O experimento em campo foi conduzido na época da estação de verão e as aplicações foram realizadas na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), com as coordenadas de latitude Sul 18°56'51" e longitude Oeste 48°12'02", na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, durante o mês de março de 2023. A área possui altitude média de 935 m e o clima característico da região é do tipo Aw tropical úmido megatérmico, segundo a classificação de Köppen, caracterizado pelo verão quente e úmido e inverno frio e seco. A temperatura do ar média mensal varia de 20,9 a 23,1 °C. A precipitação média anual é de 1.500-1.600 mm (Rodrigues; Lima, 2019).

O campo onde foi realizado o experimento foi uma área com infestação de *Urochloa decumbens*, ou seja, a área escolhida já havia o estabelecimento da planta invasora previamente. Foi verificado que as plantas apresentavam estágio fenológico homogêneo e se encontravam com uma altura média de 0,25 m, no dia em que foi realizada a aplicação (Figura 1).

Figura 1 – Campo experimental, área infestada por *Urochloa decumbens*



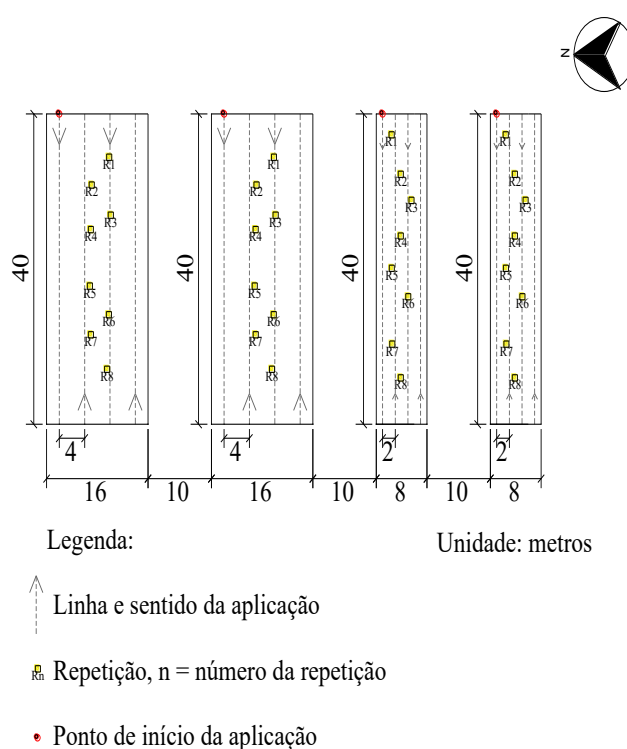
Fonte: A autora, 2023.

### 2.2 Unidade experimental e equipamentos

A área experimental, conforme mostrado na Figura 2, foi composta por quatro parcelas e as repetições de cada tratamento foram posicionadas aleatoriamente dentro de sua respectiva

parcela. As aplicações com a aeronave remotamente pilotada (RPA) foram realizadas em parcelas de 40 m de comprimento e 16 m de largura, totalizando uma área de 640 m<sup>2</sup> cada. As parcelas que receberam as aplicações com o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> apresentavam 40 m de comprimento e 8 m de largura, totalizando 320 m<sup>2</sup> cada. Em cada parcela onde a aplicação foi realizada com RPA, para a amostragem, foram desconsiderados 5,0 m em cada uma das bordas laterais e das extremidades do comprimento. Nas parcelas onde foram feitas as aplicações terrestres foi desconsiderado 1,0 m em cada uma das bordas, para efeito de bordadura, de forma a garantir que a velocidade dos pulverizadores fosse constante. A distância entre as parcelas era de 10 m (zona tampão). A faixa de trabalho para aplicação aérea foi de 4 m, baseado no trabalho conduzido por Cunha e Silva (2023) e para aplicação terrestre foi de 2 m (largura faixa da barra).

Figura 2 – Arranjo experimental



Fonte: A autora, 2023.

Na aplicação foram utilizados os pulverizadores agrícolas do tipo aeronave remotamente pilotada (RPA) AGRAS MG-1P (DJI, China) (Figura 3a), com depósito de calda de 10 L, 4 bicos de pulverização e 8 motores (130 rpm/volts), maiores especificações se

encontram na Tabela 1, e o pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, munido com uma barra com quatro bicos espaçados entre si em 0,5 m (Figura 3b).

Figura 3 – Pulverizadores utilizados no ensaio experimental



(a) Aeronave remotamente pilotada AGRAS MG-1P (DJI, China); (b) Pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>.  
Fonte: A autora, 2022.

Tabela 1 – Especificações da aeronave remotamente pilotada

Parâmetro	Descrição
Método de Operação	Controle remoto
Dimensões (mm)	1460 x 1460 x 578 (medidas com braços abertos)
Capacidade de trabalho (ha h <sup>-1</sup> )	4
Sistema de pulverização	Pulverização atomizada
Capacidade do tanque (L)	10
Número de bicos	4
Faixa de Aplicação (m)	4 - 6 (com aplicação de 1,5 - 3,0 m da cultura)
Faixa de precisão radar (m)	0,10
Velocidade máxima operacional (m s <sup>-1</sup> )	7
Modo de posicionamento	GPS + GLONASS* ou manual

\* GPS: Sistema de posicionamento global; GLONASS: Sistema global de navegação por satélite.  
Fonte: DJI, 2018.

As pontas utilizadas na aplicação foram: jato plano padrão XR 11001, da empresa Teejet<sup>®</sup> Technologies (Illinois, EUA) e jato plano com indução de ar AirMix 11001 da Agrotop<sup>®</sup> Spray Technology (Obertraubling, Alemanha).

Alguns parâmetros da aplicação variaram conforme o tipo de pulverizador, como a velocidade de deslocamento, a taxa de aplicação e a altura de trabalho, seus valores podem ser visualizados na Tabela 2. Na pulverização terrestre, para ambas as pontas, a pressão de trabalho foi de 200 kPa, e a vazão de cada ponta foi de 0,33 L min<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Parâmetros das aplicações com pulverizador aéreo e terrestre

Aplicação	Ponta	Velocidade deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )	Altura de trabalho (m)
Aérea - RPA	XR 11001	3,3	10	2,0*
Aérea - RPA	AirMix 11001	3,3	10	2,0*
Terrestre	XR 11001	1,1	100	0,5**
Terrestre	AirMix 11001	1,1	100	0,5**

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada; \*Altura de voo; \*\* Altura de trabalho em relação à cultura.

Fonte: A autora, 2023.

Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas na área apresentaram a umidade relativa do ar variando entre 47,0% a 76,0%, com média de 66,3%, a temperatura do ar variou entre 28,0 a 31,0 °C, com média de 29,6 °C, e a velocidade do vento esteve entre 0,4 a 1,7 m s<sup>-1</sup>, com média de 1,06 m s<sup>-1</sup>, medidos por um Termo-higro-anemômetro digital portátil modelo KR825, marca AKROM® (São Leopoldo, Brasil).

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi considerado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois fatores (ponta e método de aplicação), totalizando quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram as pontas XR 11001 e AirMix 11001 e os métodos de aplicação, aéreo (via RPA) e terrestre (via pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>), conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos

Tratamento	Ponta	Método de aplicação	Pulverizador	Taxa de aplicação (L ha <sup>-1</sup> )
1	Jato plano XR 11001	Aérea	RPA	10
2	Jato plano com indução de ar AirMix 11001	Aérea	RPA	10
3	Jato plano XR 11001	Terrestre	Costal pressurizado com CO <sub>2</sub>	100
4	Jato plano com indução de ar AirMix 11001	Terrestre	Costal pressurizado com CO <sub>2</sub>	100

RPA: Aeronave Remotamente Pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

## 2.4 Avaliações

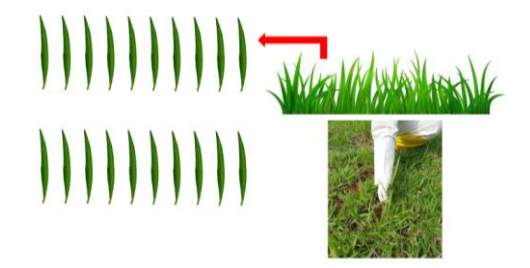
Para a RPA, antes da aplicação, foi feito o plano de voo de acordo com as parcelas, a faixa e a taxa de aplicação, a altura de voo e a velocidade de deslocamento para que o voo fosse feito a partir de uma programação prévia. Com a calda no tanque dos pulverizadores, a aplicação foi realizada. O voo da RPA foi feito sentido *back-to-back* (vai e vem), assim como as passadas com o pulverizador terrestre.

### 2.4.1 Deposição

A deposição na *Urochloa decumbens* foi quantificada por meio da adição de um traçador à calda, constituído de corante alimentício Azul Brilhante (FD&C Blue n.1) catalogado internacionalmente pela Food, Drug & Cosmetic, na dose de 0,5 kg ha<sup>-1</sup>. O herbicida adicionado a calda foi o glifosato Roundup Transorb<sup>®</sup>R da Bayer Crop Science (Leverkusen, Alemanha) a base de sal de potássio de N-(fosfometil)glicina (588 g L<sup>-1</sup>) e equivalente ácido de N-(fosfometil)glicina (480 g L<sup>-1</sup>) na dose de 3,0 L ha<sup>-1</sup>. A calda era formada por água, herbicida e corante.

Após a aplicação, as amostragens foram realizadas, onde foram coletadas ao acaso vinte (20) folhas de *Urochloa decumbens* (Figura 4), em oito pontos diferentes por parcela, considerando toda a área útil da parcela. As folhas foram armazenadas de acordo com cada repetição e parcela, em sacos plásticos, previamente identificados, que foram fechados e acondicionados em recipientes providos de isolamento térmico e luminoso, e em seguida transportados para o laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, Minas Gerais), local onde foram realizadas as posteriores análises.

Figura 4 – Forma de amostragem das folhas para avaliar a deposição



Fonte: A autora, 2023.

Com as amostras em laboratório foi feita a remoção do depósito das folhas. Para isso, foi adicionado 100 mL de água deionizada em cada saco plástico com as amostras e, posteriormente, os sacos plásticos com a solução foram agitados para a completa homogeneização utilizando uma mesa agitadora pendular modelo TE240/I da empresa Tecnal (Piracicaba, Brasil), regulada a 250 rpm por 15 minutos, de forma a extrair todo o traçador presente nas amostras.

Das soluções formadas, foi quantificado o corante por meio dos valores de absorvância obtidos por espectrofotometria, que consiste em determinar a concentração de uma substância pela medida da absorção relativa da luz, ou seja, mostra a energia luminosa absorvida pela amostra em uma frequência específica. O espectrofotômetro utilizado no experimento foi da marca Bioespectro (Curitiba, Brasil), modelo SP-22, com lâmpada de tungstênio-halogênio, e cubetas de vidro com caminho óptico de 10 mm, no comprimento de onda de 630 nm para a cor azul.

Para o cálculo da deposição, os valores de absorvância foram transformados em concentração de traçador em  $\mu\text{g L}^{-1}$  utilizando uma curva de calibração previamente determinada a partir de soluções com concentração conhecida, sendo então, obtido a massa do traçador depositado com relação a quantidade de solução extratora utilizada na lavagem das folhas. Posteriormente, a massa do traçador foi dividida pela área foliar, em  $\text{cm}^2$ , de cada amostra para que a deposição fosse determinada em  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . A área foliar foi determinada utilizando um medidor de área foliar modelo LI 3100C, da marca Licor<sup>®</sup> (Lincoln, EUA).

#### *2.4.2 Espectro de gotas*

O espectro de gotas formado pela pulverização foi caracterizado por meio das etiquetas de papel hidrossensível, que apresentam dimensões de 76 x 26 mm, da marca Syngenta<sup>®</sup> (Basileia, Suíça). Para isso, foi utilizada uma etiqueta por repetição, dentro das parcelas (Figura 5). Foi utilizado cliques de presilha metálica para fixá-las às plantas, de forma a simular a própria folha. Após a aplicação em cada parcela, as etiquetas foram coletadas e alocadas dentro de envelopes de papel, devidamente identificados, sendo então levadas ao laboratório, onde foram digitalizadas e analisadas empregando-se o sistema DropScope<sup>®</sup> da SprayX (São Carlos, Brasil), equipamento exclusivo para esse tipo de análise.



Figura 5 – Caracterização da amostragem do papel hidrossensível na planta



Fonte: A autora, 2023.

Foram analisados no espectro de gotas, a cobertura (%), a densidade de gotas (gotas  $\text{cm}^{-2}$ ), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume em gotas menores que  $100 \mu\text{m}$  ( $\% < 100 \mu\text{m}$ ).

#### 2.4.3 Eficácia no controle de *Urochloa decumbens*

A parte aérea das plantas foi monitorada, observando as alterações morfológicas, aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), onde foi determinado o controle em relação ao dia que a aplicação foi realizada. Essa análise foi feita de forma visual com pontuação percentual, baseado na metodologia de Chen *et al.* (2023), conforme Tabela 4. O controle foi avaliado em oito pontos (repetição) dentro da área útil da parcela.

Tabela 4 – Descrição da escala de inspeção visual em função da porcentagem de eficácia de controle da planta daninha

Controle (%)	Descrição conceitual
100	Nenhum indivíduo sobrevivente das espécies de plantas daninhas alvo observada
95-99	Eficácia de controle muito bom com indivíduos esporádicos das espécies das plantas daninhas alvo
85-94	Eficácia de controle aceitável com uma diminuição inegável na ocorrência das plantas daninhas alvo
70-84	Eficácia de controle geral e insuficiente das plantas daninhas alvo
60-69	Certa eficácia de controle, sem valor comercial
<60	Baixa eficácia de controle e, portanto, sem valor comercial

Fonte: Chen *et al.* (2023).

## 2.5 Análises Estatísticas

As análises estatísticas de delineamento experimentais são feitas a partir de técnicas como a de modelos lineares ou por meio da análise de variância (ANAVA) em que satisfazendo as pressuposições, relacionadas a cada fator, o teste consiste em comparar o valor da estatística F com os percentis da distribuição F-Snedecor ao nível de significância de 0,05, e quando significativo é feita a comparação de médias (Banzatto; Kronka, 1995; Morais, 2001; Pimentel-Gomes, 2000). A diferença de médias foi analisada pelo Teste de Tukey, também ao nível de significância de 0,05.

Neste trabalho foi realizado o estudo das pressuposições do modelo linear em que foram empregados para testar a normalidade dos resíduos os testes de Shapiro-Wilk (W), para homogeneidade das variâncias, os testes de Levene (L) e o teste de Durbin-Watson (DW) para independência dos resíduos. Satisfeitas estas pressuposições das variáveis, realizou-se um estudo de análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com os quatro tratamentos.

Nem sempre as pressuposições do modelo linear foram satisfeitas, e quando isso ocorre, uma alternativa no DIC é fazer uso de transformações de dados. Para isso, foram usadas as transformações raiz quadrada e logarítmica (ln). Quando mesmo transformando, não se satisfaz os pressupostos, foi usado de estatística não paramétrica como o teste de Kruskal-Wallis (Morais, 2001), e representada a medida de posição dos dados a partir das medianas, devido a não normalidade.

De forma complementar, para avaliar se o processo de deposição de calda, dentro de cada parcela, estava dentro da variabilidade aceitável, ou seja, verificar a qualidade da deposição, foram confeccionados os gráficos de controle. Esse monitoramento por métodos estatísticos de processos (CEP) viabiliza análises de dados para apoiar o empenho da melhoria da qualidade de um sistema, pois é eficiente para detectar alterações anormais de um processo (Biegel *et al.*, 2022).

Na construção dos gráficos de controle individual foram utilizadas as medidas individuais de cada tratamento, e para os gráficos de controle da variabilidade entre duas medidas consecutivas utilizou-se a amplitude móvel, conforme Montgomery (2017). O gráfico de controle individual apresenta os limites de controle inferior (LCL) e superior (UCL), e a linha central, que são calculados conforme as Equações 1, 2 e 3. Quando o LCL apresentou

valor negativo, ele foi especificado em zero, pois é o menor valor possível a ser encontrado para a deposição.

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (1)$$

$$\text{Linha central} = \bar{x} \quad (2)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

Em que:

$UCL$  = limite de controle superior;

$\bar{x}$  = média das observações;

$\overline{MR}$  = média das amplitudes móveis de duas observações;

$d_2$  = valor tabulado dependente do número de observações;

$LCL$  = limite de controle inferior.

A média das amplitudes das amostras é calculada a partir da Equações 4 e 5.

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + \dots + MR_m}{m} \quad (4)$$

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (5)$$

Em que:

$MR$  = amplitude móvel;

$x$  = observação.

Os gráficos de controle da variabilidade, utilizando a amplitude móvel, também apresentam os limites superior e inferior e a linha central, que foram calculados a partir das Equações 6, 7 e 8, a seguir:

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad (6)$$

$$\text{Linha central} = \overline{MR} \quad (7)$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad (8)$$

Em que:

$D_4$  e  $D_3$  = são valores tabulados dependente do número de observações.

As análises foram realizadas utilizando o *software* R na versão 4.2.2. (R Core Team, 2020) e os gráficos de controle foram confeccionados no *software* Minitab® na versão 16.2 (Minitab Inc., 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Deposição

A Tabela 5 apresenta as medianas da deposição da calda herbicida pulverizada. A aplicação com a aeronave remotamente pilotada (RPA) apresentou maior destaque na deposição ( $3,466 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) em relação a aplicação terrestre via pulverizador costal pressurizado com  $\text{CO}_2$  ( $2,242 \mu\text{g cm}^{-2}$ ).

Tabela 5 – Medianas da deposição ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) do traçador obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de *Urochloa decumbens*

Aplicação	Deposição
AÉREA - RPA	3,466 a
TERRESTRE	2,242 b
Ponta	
XR 11001	2,919 a
AIRMIX 11001	2,372 a
Pressupostos	<b><math>W = 0,96</math>; <math>L = 9,41</math>; <math>DW = 2,00</math></b>

Medianas seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 0,05 de significância;  $W$ ,  $L$  e  $DW$ : estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Jeevan *et al.* (2023) também observaram que a aplicação de herbicidas (Pyrazosulfuron Ethyl e Bispyribac-sodium) na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) via RPA, com taxa de aplicação de  $37,5 \text{ L ha}^{-1}$ , apresentou maior deposição de gotas ( $0,077$  e  $0,075 \mu\text{L cm}^{-2}$ ) do que a aplicação com o pulverizador costal ( $0,060$  e  $0,049 \mu\text{L cm}^{-2}$ ) com taxa de  $500 \text{ L ha}^{-1}$ , em duas aplicações feitas em campo. Na primeira aplicação a altura das plantas apresentavam  $14,34 \pm 2,12 \text{ cm}$  e na segunda aplicação  $45,50 \pm 4,62 \text{ cm}$ . Os autores justificam que as aplicações via RPA apresentaram maior deposição devido a taxa de aplicação reduzida, com maior concentração de ingrediente ativo nas gotas e menor escoamento para a superfície do solo. O que também pode explicar o ocorrido nesta pesquisa.

Pachuta *et al.* (2023) avaliando em ambiente controlado, o efeito da taxa de rotação das hélices de uma RPA na qualidade da deposição em píceazul (*Picea pungens* Engelm.), observaram que a influência do fluxo de ar gerado pela rotação dos rotores (*downwash*) proporcionou melhores resultados de deposição que um pulverizador “terrestre” (rotação a 0 RPM). O efeito *downwash* e a corrente de ar natural do ambiente são fatores que afetam a distribuição de deposição das gotas durante a pulverização aérea (Lan *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023b; Yang *et al.*, 2022). Carreño Ruiz *et al.* (2022) fizeram simulações de aplicações em túnel de vento e observaram que o *downwash* do rotor da RPA minimizou a deriva, pois as gotas com menor inércia se alinharam com as linhas da corrente de ar, que, neste caso, são direcionadas para o solo. Porém, isso não ocorreu quando o fluxo de ar lateral gerado alcançou as gotas fora da região de *downwash*. Ochieng’ *et al.* (2023) verificaram que em alturas de voo menores, como a de 2,5 m, o fluxo de ar turbulento causado pelo efeito de voo da RPA voando perpendicularmente ao solo resultou no aumento da pressão descendente sobre as gotas, favorecendo o depósito.

Deve-se salientar que modelos diferentes de RPA, com diferentes arranjos das pontas em relação aos rotores podem ter respostas diferentes. Wen *et al.* (2019) descrevem, por exemplo, que os fenômenos do fluxo de ar da RPA de quatro rotores são diferentes daqueles de asa fixa devido às influências variadas das respectivas zonas de estímulo. Guo *et al.* (2020) observaram para pontas posicionadas abaixo do rotor, a altura entre 0,5 e 1,2 m do alvo de aplicação proporciona melhor utilização do fluxo de ar do rotor e aumento da velocidade de sedimentação das gotas. Eles também descreveram que o campo de vento em espiral gerado pelos rotores pode atrair as gotas que estão próximas do exterior do campo de ar para o interior do campo de ar e aumentar a taxa de acerto ao alvo.

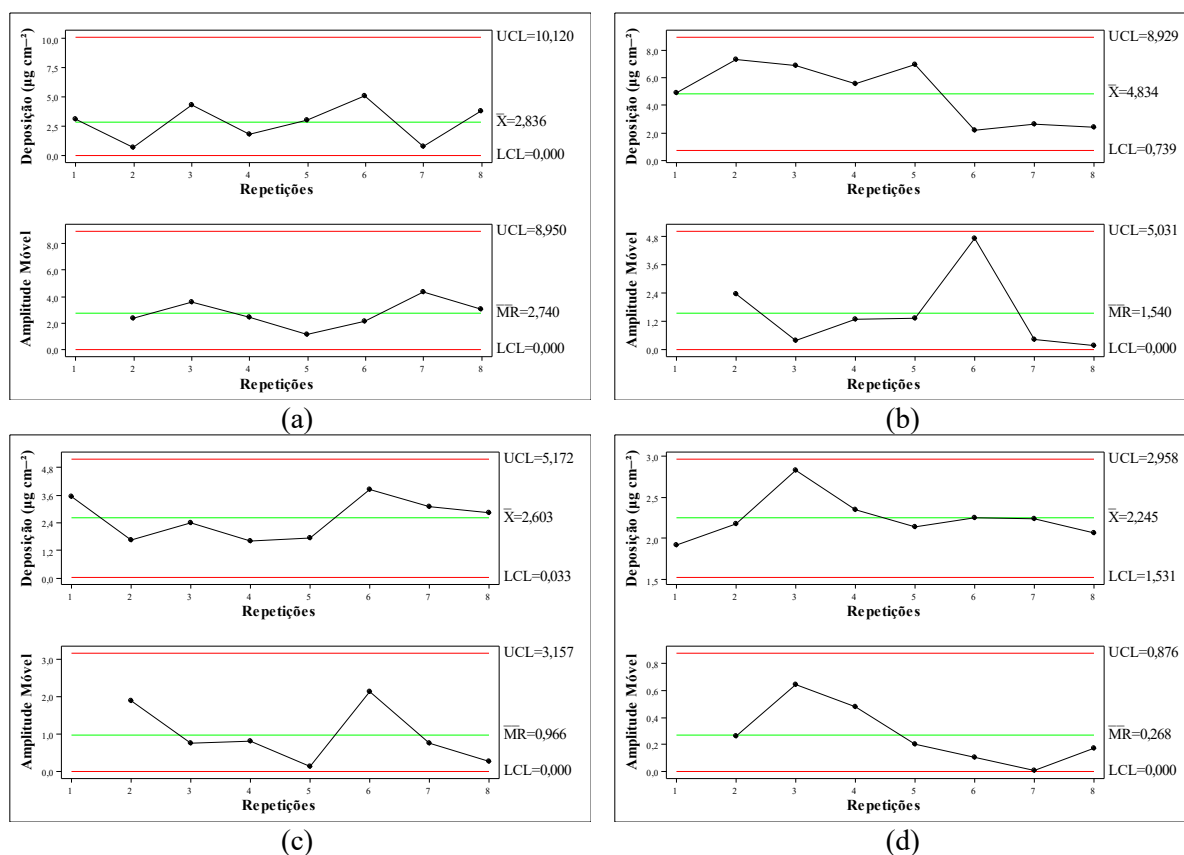
Não houve diferença significativa na deposição para as diferentes pontas utilizadas na aplicação. A ponta XR 11001 apresentou a mediana de 2,919  $\mu\text{g cm}^{-2}$  e a ponta AirMix 11001 2,372  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . Wang *et al.* (2021) observaram que a aplicação com a ponta jato plano com indução de ar foi uma técnica eficaz para promover a distribuição da deposição e reduzir a deriva da pulverização com RPA em videira artificial. O que ocorreu também neste trabalho, onde a porcentagem do volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$  foi menor para a ponta com indução de ar AirMix 11001, que será discutido posteriormente, mostrando o menor potencial de deriva quando utilizada essa ponta.

É importante lembrar, que as aplicações de baixo volume requerem uma deposição mais eficiente das gotas na superfície alvo (Zhao *et al.*, 2022), em função da calda mais concentrada

e do volume distribuído na área, para que não haja a perda de produtos, redução da eficácia e aumento dos riscos ambientais.

Afim de monitorar um processo para detectar mudanças indesejáveis, os gráficos de controle são comumente utilizados (Ali *et al.*, 2023). Apesar dos avanços tecnológicos na tecnologia de aplicação, o processo de pulverização pode apresentar imperfeições nas quais se torna interessante obter dados da aplicação na área, como é o caso da análise da deposição por meio dos gráficos de controle, onde é possível observar se nesse aspecto a aplicação está sob controle, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Gráficos de controle para a deposição do traçador ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) na aplicação de herbicida (glifosato) para o controle de *Urochloa decumbens*, empregando RPA e pulverizador costal com duas pontas de pulverização



(a) RPA - XR 11001; (b) RPA - AirMix 11001; (c) TERRESTRE - XR 11001; (d) TERRESTRE - AirMix 11001. UCL: limite superior,  $\bar{X}$ : média do tratamento, LCL: limite inferior,  $\overline{MR}$ : médias móveis; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Por meio dos gráficos verifica-se que as aplicações via RPA (Figuras 6a e 6b) apresentaram maiores variações em relação ao valor médio. A aplicação via RPA com a ponta

XR 11001 (Figura 6a) apresentou na repetição seis, deposição de  $5,128 \mu\text{g cm}^{-2}$ , e o valor médio geral do tratamento foi  $2,836 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Portanto, uma amplitude de  $2,292 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Quando a aplicação foi feita com a ponta AirMix 11001 (Figura 6b) para o mesmo pulverizador, a amplitude foi de  $2,659 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Nesse tratamento, a média foi de  $4,834 \mu\text{g cm}^{-2}$  e na repetição seis a deposição foi  $2,175 \mu\text{g cm}^{-2}$ , caracterizando o ponto de maior variação.

A aplicação terrestre apresentou menor variação da deposição em relação ao valor médio, ou seja, os dados para esse método de aplicação estiveram mais próximos ao valor médio do tratamento. Quando a aplicação foi realizada com a ponta XR 11001 (Figura 6c) houve a maior amplitude,  $1,273 \mu\text{g cm}^{-2}$ , entre amostra (repetição seis,  $3,876 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) e média ( $2,603 \mu\text{g cm}^{-2}$ ). Para a aplicação com a ponta AirMix 11001 (Figura 6d), a repetição três apresentou deposição de  $2,825 \mu\text{g cm}^{-2}$  e a média do tratamento foi de  $2,245 \mu\text{g cm}^{-2}$ , com amplitude de  $0,580 \mu\text{g cm}^{-2}$ . A amplitude entre a repetição seis ( $2,245 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) e a média ( $2,245 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) foi igual a zero, não apresentando variação entre o ponto avaliado e a média do tratamento.

Embora os resultados, em sua maioria, tenham apresentado variações na aplicação, o processo esteve sob controle estatístico para todos os tratamentos, isto significa que os dados se apresentaram entre os limites superior (UCL) e inferior (LCL), resultando em uma aplicação com qualidade, do ponto de vista da distribuição da calda na área, não sendo detectados padrões de não aleatoriedade. Leiva *et al.* (2023) descrevem que nos processos, existe uma certa variabilidade inerente, nesse sentido, tais processos apresentam variações por causas naturais ou comuns, como o ocorrido nesta pesquisa. O processo fora de controle acontece quando os pontos do gráfico de controle se encontram fora dos limites superior ou inferior. Com isso, o processo muda de uma média com variação projetada ao longo da amostragem (Hadian; Rahimifard, 2019). Alta variabilidade na deposição pode ser responsável pela aplicação excessiva ou insuficiente do produto dentro da área aplicada. A análise do processo permite a intervenção e a alteração correspondente dos parâmetros do processo para um melhor desempenho (Langner *et al.*, 2023).

Destaca-se que, por mais que os resultados revelem que o processo esteve sob controle, não quer dizer que os valores encontrados seriam os valores desejados. Por meio dos gráficos de controle, verifica-se que a aplicação terrestre apresentou menor variação dos dados, mas também apresentou menores valores médios de deposição. Jorani *et al.* (2023) descrevem que as métricas de detecção do gráfico de barra X (o utilizado neste trabalho) apenas levam informações sobre novas amostras de dados para o processo de tomada de decisão e ignoram outras informações, tal como, valores ideais de deposição.



### 3.2 Espectro de gotas

Na Tabela 6 pode se visualizar as médias da cobertura (%), densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) e amplitude relativa (AR) obtidas pela aplicação da calda herbicida (glifosato). A cobertura, que mostra a proporção da área ocupada na superfície do alvo pelas gotas, foi maior para a aplicação terrestre, com 18,14%. A aplicação via RPA apresentou 5,05% de cobertura.

Tabela 6 – Médias da cobertura (%), densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) e amplitude relativa (AR) obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de *Urochloa decumbens*

Aplicação	Cobertura (%)	Densidade <sup>1</sup> (gotas cm <sup>-2</sup> )	Amplitude Relativa (AR)
AÉREA - RPA	5,05 b	55,43 b	0,98 b
TERRESTRE	18,14 a	239,88 a	1,32 a
Ponta			
XR 11001	10,65 a	213,89 a	1,08 a
AIRMIX 11001	12,54 a	81,41 b	1,21 a
Pressupostos	<b>W = 0,96; L = 2,06;</b> <b>DW = 2,03</b>	<b>W = 0,99; L = 2,43;</b> <b>DW = 2,13</b>	<b>W = 0,95; L = 0,82;</b> <b>DW = 1,80</b>

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; *W*, *L* e *DW*: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>1</sup> Transformação logarítmica; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Meng *et al.* (2020) encontraram uma cobertura variando entre 0,85 ± 0,26% a 1,51 ± 0,70% para aplicação via RPA na cultura do pessegueiro (*Prunus persica*) com as plantas em formato guia central, com ramos que se apresentam em posição mais verticalizada para diferentes rotas (linha e entrelinha) e taxas de aplicação (22,00, 25,05 e 30,00 L ha<sup>-1</sup>), na velocidade de 3 m s<sup>-1</sup>. O aumento da taxa de aplicação proporcionou incremento na cobertura, como o encontrado nesta pesquisa.

Wang *et al.* (2020) avaliaram os efeitos meteorológicos e da altura de voo para a aplicação via RPA em área de abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merrill). Na altura de voo de 2,5 m e velocidade de deslocamento de 3 m s<sup>-1</sup> a cobertura nos terços superior, médio e inferior da planta foi de 1,28%, 0,27% e 0,31%, respectivamente. Justifica-se que as RPAs operando com uma taxa de aplicação menor pode levar a uma cobertura percentual de área reduzida. Sarri

*et al.* (2019) também observaram essa mesma tendência, onde avaliaram aplicações em vinhedo (*Vitis vinifera* L.) com diferentes pulverizadores. A aplicação com o pulverizador do tipo lança (896,17 L ha<sup>-1</sup>) apresentou uma cobertura média de 59,49% e a aplicação com a RPA (253,27 L ha<sup>-1</sup>) apresentou cobertura de 0,90% quando utilizada a ponta AIXR 11003 e 3,83% quando utilizada a ponta XR 8003. Isso sugere que, em aplicações com maior taxa, a probabilidade de cobrir o alvo é maior do que para aplicações com taxa menor. Porém, os autores chamam atenção para o risco de escorrimento em maiores volumes de calda.

Nanavati *et al.* (2023) relatam que a cobertura desejada pode ser alcançada a partir das adequações dos parâmetros operacionais, como a trajetória, as velocidades de deslocamento e a vazão. Mas, os mesmos autores enfatizam a dificuldade de cobertura e uniformidade de distribuição para aplicações via RPA. A distribuição da pulverização para voos de alta velocidade, por exemplo, difere dos voos de velocidade baixa devido à interação aerodinâmica entre as gotas de pulverização e o *downwash* produzido pelos rotores da RPA.

As pontas não denotaram diferença significativa para a cobertura. A ponta de jato plano padrão XR 11001 apresentou cobertura de 10,65% e para a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 a cobertura foi 12,54%. Chen *et al.* (2022a) descrevem que pontas com indução de ar na RPA podem nem sempre ser adequadas para a aplicação, que tendem a gerar gotas maiores. Isso se deve à limitação de carga da aeronave, em que a melhoria da qualidade de pulverização implica na redução do tamanho das gotas, para que se tenha maior densidade e cobertura de gotas. No entanto, tamanho de gotas menores aumenta o risco de deriva. Subr, Al-Ahmadi e Abbas (2020) verificaram que a ponta jato plano padrão (Agroplast<sup>®</sup> 12003) produziu maior cobertura que a ponta com indução de ar (Agroplast<sup>®</sup> 8MS 03C), 11,49% e 5,85%, respectivamente, para uma aplicação via pulverizador costal pressurizado (284 L ha<sup>-1</sup>) na cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.).

Diferente do exposto por Chen *et al.* (2022a), a ponta de indução de ar AirMix 11001, utilizada nesta pesquisa, não apresentou menor cobertura que a ponta de jato plano padrão XR 11001. Yu, Kang e Lee (2023) avaliaram a aplicação via RPA na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e da soja (*Glycine max* (L) Merrill) com pontas do tipo jato plano com indução de ar (AI), projetada pelos autores, e de jato plano padrão (XR 110015VS). Para a cobertura foi encontrado para a ponta AI 5,05% e 3,35% e para a ponta XR 110015VS 2,11% e 1,44%, no arroz e na soja, respectivamente. Concluindo que o tamanho maior das gotas da ponta AI, ao que tudo indica, reduziu a deriva, o que foi atribuído ao aumento do número de gotas que chegaram ao alvo, incrementando a cobertura.

As pontas com indução de ar têm sido empregadas em muitas aplicações para diminuir o potencial de deriva e aumentar a eficácia da proteção de culturas. Nesse tipo de ponta o ar é aspirado para a “garganta” do sistema Venturi, em função da baixa pressão gerada, e passam pela seção divergente, local onde a pressão é recuperada e, então, posteriormente acontece a mistura bifásica de líquido e ar na câmara de mistura. A relação ar-líquido, a partir da interação do ar e da calda, produz gotas maiores que incluem microbolhas. Essas gotas quando impactam a superfície alvo se fragmentam em gotas menores, e esse mecanismo reduz o potencial de deriva e proporciona uma aplicação mais controlada (Abdelmotalib *et al.*, 2021), o que pode melhorar a cobertura.

A densidade, que mostra a quantidade de gotas em uma área, foi maior para a aplicação terrestre via pulverizador costal com 239,88 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , em relação a aplicação com a RPA, que apresentou densidade de 55,43 gotas  $\text{cm}^{-2}$ . Chen *et al.* (2022b) realizaram aplicações de calda a base de tidiazuron e ethephon para desfolha do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) via RPA com diferentes taxas de aplicação (15; 18; 22,5; 25,5; 29,1 e 30  $\text{L ha}^{-1}$ ) e observaram que à medida que o volume de calda aplicado aumentava, a densidade média das gotas também aumentou gradualmente, com média de cerca de 17 gotas  $\text{cm}^{-2}$  na menor taxa, e 27 gotas  $\text{cm}^{-2}$  na maior taxa. Como o ocorrido nesta pesquisa, onde a aplicação de maior taxa (100  $\text{L ha}^{-1}$ ) apresentou maior densidade de gotas. Abd. Kharim *et al.* (2019) também observaram para aplicação via RPA na cultura do arroz que a densidade de gotas tende a aumentar com o aumento da taxa de aplicação. Na velocidade de aplicação de 2  $\text{m s}^{-1}$  e vazão de 3  $\text{L min}^{-1}$ , a densidade foi próxima a 60 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , valor parecido ao encontrado nesta pesquisa, e na vazão de 0,75  $\text{L min}^{-1}$ , na mesma velocidade de deslocamento, a densidade ficou abaixo de 10 gotas  $\text{cm}^{-2}$ .

Corroborando com esses resultados, Önlér *et al.* (2023) também observaram que a densidade aumentou à medida que a taxa de aplicação aumentou. Os autores verificaram ainda que, para a aplicação de herbicidas de pré-emergência, a taxa de 15  $\text{L ha}^{-1}$  pode ser eficaz e para os outros herbicidas as aplicações nas alturas de voo de 1,5 e 2,0 m com taxa de 20  $\text{L ha}^{-1}$  podem ser eficazes. Desta forma, é necessário determinar os parâmetros no qual os produtos a serem utilizados façam o controle e tenha máxima eficiência do equipamento.

Para as diferentes pontas utilizadas, a aplicação com a ponta jato plano padrão XR 11001 apresentou maior densidade de gotas, com 213,89 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , o que pode ser atribuído ao menor tamanho de gotas. A ponta jato plano com indução de ar apresentou 81,41 gotas  $\text{cm}^{-2}$ . Mur *et al.* (2020) descrevem que gotas menores têm maior probabilidade em

se depositar no alvo quando comparado a um mesmo volume distribuído com gotas maiores. Considerando a indicação da *Syngenta Crop Protection AG* (Basileia, Suíça), onde é recomendado ao menos 30-40 gotas  $\text{cm}^{-2}$  para aplicações de herbicida pós-emergência (Pandiselvam *et al.*, 2023), e avaliando apenas a densidade encontrada para as diferentes pontas nesta pesquisa, ambas apresentam potencial para proporcionar eficiência no controle das plantas daninhas.

Urach Ferreira *et al.* (2020), avaliando aplicações com o herbicida piroxassulfona, verificaram a mesma tendência, que a densidade de gotas para a ponta XR 11002 (78,8, 50,8, 76,8 e 95,0 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ) foi maior que para ponta com indução de ar ULD 12002 (36,6, 30,2, 28,5 e 31,2 gotas  $\text{cm}^{-2}$ ), onde foram feitas aplicações em diferentes locais do Missouri (EUA), no ano 2017, via pulverizador costal pressurizado com  $\text{CO}_2$ . Os autores observaram ainda, que maiores densidades de gotas não resultaram em melhor eficácia no controle das plantas daninhas.

Salienta-se que os valores de cobertura e densidade de gotas devem ser vistos com cautela, pois não existem faixas de valores padronizadas que informem as porcentagens ideais de cobertura e nem o número de gotas  $\text{cm}^{-2}$  para cada ingrediente ativo correlacionado com a eficácia biológica. Existem indicações (Sarri *et al.*, 2019) como discutido anteriormente, mas estudos da eficácia são importantes para poder entender melhor a resposta do controle obtido, principalmente no que se refere às RPAs, onde as aplicações comumente são com menores volumes de calda.

A amplitude relativa (AR) aponta a homogeneidade no tamanho das gotas (Baio *et al.*, 2022). Quanto menor o valor da AR, menor será a amplitude entre os valores dos diâmetros das gotas produzidas durante a pulverização e, conseqüentemente, melhor será a qualidade da aplicação. Nesta pesquisa, a amplitude relativa foi 0,98 para a aplicação via RPA, denotando menor dispersão no espectro de gotas, indicando que a uniformidade da distribuição do tamanho das gotas foi maior com esse método de aplicação. A aplicação terrestre apresentou AR de 1,32. Yuan *et al.* (2023) encontraram AR de 1,2 em sua pesquisa e descreveram que esse valor indica um amplo espectro de gotas. Xue *et al.* (2023a) sugerem que valores inferiores a um (1) indicam uma boa homogeneidade na distribuição do tamanho das gotas. Portanto, reduzir a amplitude relativa é de grande importância para aumentar a eficiência da aplicação, a fim de produzir gotas em uma faixa de diâmetro mais estreita, dentro do exigido pelo alvo (Xue *et al.*, 2021) e atendendo às condições ambientais.

Pesquisadores (Avila Neto *et al.*, 2021; Campos *et al.*, 2020; Cunha; Alves; Marques, 2017) verificaram que o herbicida glifosato adicionado a calda com água apresenta a capacidade de reduzir a tensão superficial do fluido, e Xue *et al.* (2023b) descrevem que a redução da tensão superficial da calda pode inibir sua capacidade de retenção de forma e promover sua ruptura modificando o espectro de gotas e levando a uma distribuição de tamanho mais uniforme. O que pode ter ocorrido nesta pesquisa, onde a aplicação com taxa de 10 L ha<sup>-1</sup> apresentou maior concentração do herbicida que a calda de 100 L ha<sup>-1</sup>, e essa maior concentração pode ter efeito superior na modificação das características físicas da calda, interferindo de forma mais contundente no espectro de gotas.

Assim como nesta pesquisa, outros autores encontraram a mesma tendência de incremento da AR para maiores taxas de aplicação. Abdelatef (2021) avaliou a qualidade da aplicação de caldas inseticidas para o controle de gafanhotos na cultura da alfafa (*Medicago sativa* L.). As taxas de aplicação foram 62,5 L ha<sup>-1</sup> e 15 L ha<sup>-1</sup> com aplicação via pulverizador costal motorizado. Como resposta foi observado que a aplicação com taxa de 15 L ha<sup>-1</sup> apresentou AR de 0,75 e a aplicação com taxa de 62,5 L ha<sup>-1</sup> foi maior, com 1,07, onde a aplicação com menor taxa apresentou maior homogeneidade no espectro de gotas. Alvarenga *et al.* (2024) avaliaram diferentes taxas de aplicação (8, 12 e 16 L ha<sup>-1</sup>) utilizando RPA como pulverizador na cultura do café (*Coffea arabica* L.) e observaram um aumento no valor da AR (0,8) para a maior taxa de aplicação, quando comparado às menores taxas de 8 e 12 L ha<sup>-1</sup>, que apresentaram 0,72 e 0,70, respectivamente.

Para as diferentes pontas utilizadas na aplicação, XR 11001 e AirMix 11001, não houve diferença significativa para a AR. Ferguson *et al.* (2015) também observaram valores semelhantes para a maioria das pontas que avaliaram. Godinho Jr. *et al.* (2020) verificaram ao estudarem diferentes pontas em diferentes pressões, que as pontas de jato plano padrão (JSF110-03) e jato plano com indução de ar (Magno AD-IA110-03) não apresentaram diferença na AR nas pressões de 200 e 300 kPa, em que os valores desta variável estiveram entre 1,74 a 1,91.

Na Tabela 7 podem ser visualizadas as médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e da porcentagem do volume de gotas menores que 100 µm, onde a interação entre os fatores método e ponta foram significativos para essas variáveis. A ponta AirMix 11001 apresentou maiores valores de DMV independentemente do método de aplicação, com média de 393,38 e 435,99 µm para as aplicações via RPA e via pulverizador costal, respectivamente, em relação a ponta XR 11001.

Tabela 7 – Médias do diâmetro da mediana volumétrica (DMV,  $\mu\text{m}$ ) e porcentagem do volume composto por gotas com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  ( $\% < 100 \mu\text{m}$ , %), obtidas pela aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de duas pontas para o controle de *Urochloa decumbens*

	DMV ( $\mu\text{m}$ ) <sup>1</sup>	
	PONTA XR 11001	PONTA AIRMIX 11001
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	259,81 aB	393,38 bA
APLICAÇÃO TERRESTRE	230,97 aB	435,99 aA
Pressupostos	<b>W = 0,97; L = 1,09; DW = 2,42</b>	
	$\% < 100 \mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	
	PONTA XR 11001	PONTA AIRMIX 11001
APLICAÇÃO AÉREA - RPA	2,44 bA	0,81 aB
APLICAÇÃO TERRESTRE	4,08 aA	0,54 aB
Pressupostos	<b>W = 0,98; L = 2,11; DW = 1,74</b>	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; W, L e DW: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; <sup>1</sup> Interação significativa entre os fatores; <sup>2</sup> Transformação raiz quadrada; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Segundo os catálogos das pontas utilizadas, a XR 11001 é caracterizada por apresentar gotas muito finas a finas e a AirMix 11001 gotas finas a grossas. Categorizando as gotas a partir dos valores encontrados na pesquisa, verifica-se que a ponta XR 11001 apresentou gotas variando entre 230,97 a 259,81  $\mu\text{m}$ , portanto se apresentam como gotas finas a médias. A ponta AirMix 11001 apresentou DMV variando entre 393,38 a 435,99  $\mu\text{m}$ , sendo caracterizadas como gotas grossas a muito grossas. As gotas foram categorizadas baseado na classificação de espectro de gotas da normativa da *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE) S572.1 (ASABE, 2009). Essa diferença no tamanho das gotas do experimento em relação ao catálogo pode ser em função das empresas realizarem seus testes em ambiente controlado e não exposto ao vento, com isso as gotas menores não são carregadas pela corrente de ar (Özyurt; Çelen, 2022). Além disso, são utilizados métodos de medição direta que se diferem dos métodos indiretos, como o empregado no presente trabalho.

Grant *et al.* (2022), estudando o espectro de gotas com o equipamento Malvern Spraytec, observaram gotas maiores para a ponta de jato plano com indução de ar (IDK 120-

01), com DMV de 526,8  $\mu\text{m}$ , quando comparado a ponta jato plano XR 11001 (126,7  $\mu\text{m}$ ), como nesta pesquisa, onde a ponta com indução de ar apresentou maior DMV. Outros autores também observaram como resultado a mesma tendência de maior valor de DMV com o uso de pontas de jato plano com indução de ar quando comparadas às pontas de jato plano padrão. França, Cunha e Antuniassi (2018) explicam que a existência do sistema Venturi acoplado ao pré-orifício proporciona gotas de maior tamanho pela mistura de ar às gotas. Ainda, a ruptura de bolhas de ar formadas pode estimular as perfurações precoce na lâmina de pulverização, produzindo gotas maiores (Gong; Li; Kang, 2022).

Gibbs, Peters e Heck (2021) observaram que as aplicações via RPA produziram gotas de tamanho menor quando comparado a pulverizadores terrestres. Cunha e Silva (2021) descrevem que velocidades mais altas de deslocamento na aplicação, associadas a pressões mais altas, tendem a favorecer a quebra das gotas. E levando em consideração que no processo de formação da gota quando o ar é incorporado a mesma, a bolha no interior das gotas formam pontos mais fracos que facilita a desintegração das gotas (Guler *et al.*, 2007; Miller; Butler Ellis, 2000), pode explicar o que ocorreu nesta pesquisa. Quando utilizada a ponta AirMix 11001, que apresenta a característica de introdução de ar as gotas, verificaram-se menores valores de DMV para a aplicação via RPA (393,38  $\mu\text{m}$ ) se comparada a aplicação terrestre (435,99  $\mu\text{m}$ ).

É importante ressaltar que nas aplicações de caldas herbicidas, principalmente pelo método aéreo, a escolha do tamanho das gotas deve ser feita com bastante cuidado, pois frequentemente representa um ajuste entre o benefício da resposta, com a maior eficácia, alcançado por vezes em função da melhor cobertura foliar, usando tamanhos de gotas menores, versus o imperativo de minimizar o risco da exoderiva do herbicida, que é alcançado usando gotas de tamanhos maiores (Richardson *et al.*, 2020). Porém, se os diâmetros das gotas forem muito grandes, a pulverização não se deposita uniformemente no alvo, o que pode favorecer o escoamento devido à ação da gravidade (Cryer *et al.*, 2021). Butts *et al.* (2019) apontaram que gotas com tamanho de 395  $\mu\text{m}$  maximiza a mortalidade das plantas daninhas ao aplicar uma calda herbicida com mistura de dicamba e glifosato, com taxa de aplicação de 94 L ha<sup>-1</sup>, e que o tamanho da gota pode ser aumentado para 620  $\mu\text{m}$ , mantendo o controle de 90% das plantas daninhas e mitigando o risco potencial de deriva.

O potencial de deriva, apresentado pela porcentagem do volume de gotas com tamanho inferior a 100  $\mu\text{m}$ , foi maior para as aplicações com a ponta de jato plano padrão XR 11001 (2,44% e 4,08%), quando comparada a ponta de jato plano com indução de ar AirMix 11001 (0,81% e 0,54%) para os diferentes métodos de aplicação, apresentando redução de 66,80% e

86,76%, nas aplicações aérea e terrestre, respectivamente, com o emprego da ponta com indução de ar. Portanto, a ponta com indução de ar apresentou menor quantidade de gotas menores, resultando em menor potencial de deriva, com isso, são menos propensas a desviar da área alvo ou evaporar na atmosfera. Delpuech *et al.* (2022) avaliaram a deriva da aplicação via RPA. Ao comparar com a ponta XR 11001, o índice de deriva é reduzido em 68% com a ponta jato plano com indução de ar IDK 9001 e 39% com a ponta jato plano com redução de deriva ADI 11001. Liu *et al.* (2023) verificaram a mesma tendência. A ponta jato plano padrão XR 110015 apresentou 26,2% de volume de gotas menores de 150  $\mu\text{m}$  e a ponta jato plano com indução de ar AIXR 110015 apresentou 15,2%. Os autores descrevem que as características do fluxo da lâmina de aplicação influenciaram diferencialmente o processo de ruptura da lâmina na formação das gotas, por conseguinte, alteraram o tamanho e a deriva das gotas. A ponta com indução de ar AIXR 110015 apresentou padrão de ruptura mais próximo do orifício de saída da ponta, gerando gotas maiores e menor potencial de deriva quando comparada a ponta XR 110015. O que pode ter ocorrido nesta pesquisa.

A aplicação com a ponta XR 11001 apresentou maior porcentagem de volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$  quando a aplicação foi via pulverizador terrestre (4,08%) do que quando a aplicação foi via RPA (2,44%). Como viu-se anteriormente, a aplicação via RPA apresentou maior uniformidade com o menor valor de amplitude relativa, mostrando que a aplicação se caracterizou com uma faixa de espectro de gotas mais estreito e Feng *et al.* (2023) observaram que o *downwash* pode favorecer a distribuição da pulverização de forma a ser mais uniforme e regular. Com isso, esse menor volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$  visto para a RPA, pode ter sido em função das gotas estarem mais próximas ao valor dos DMVs encontrados, que foram acima de 200  $\mu\text{m}$ .

Vale ressaltar que as gotas pulverizadas por uma ponta hidráulica, com a influência do fluxo de ar descendente, atingem uma certa velocidade, que pode fazer com que as gotas atinjam o papel hidrossensível produzindo um rastro, o que pode aumentar o tamanho das gotas identificadas; e ainda, medir gotas com tamanhos inferiores a 50  $\mu\text{m}$  não é viável para essa metodologia de forma que o espectro da gota pode ser identificado como um nível aumentado (Wang *et al.*, 2022b). Isso também pode ter colaborado para um menor valor da porcentagem do volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$  na aplicação via RPA nesta pesquisa.

Apesar da diferença entre alguns tratamentos, salienta-se que a porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  não chegou à 5%, caracterizando as aplicações em baixo potencial de deriva. Quando as aplicações foram feitas com a ponta AirMix 11001 não houve diferença



significativa para o volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$  para os diferentes métodos de aplicação.

### 3.3 Eficácia no controle de *Urochloa decumbens*

As médias e medianas da porcentagem de eficácia no controle de *Urochloa decumbens* podem ser visualizadas na Tabela 8. Para os métodos de aplicação, RPA e terrestre, não houve diferença na porcentagem de eficácia no controle. Aos 14 dias após a aplicação (DAA) as médias de controle foram de 77,19% e 75,50%, aos 21 DAA o controle apresentou medianas de 93,00% e 95,00% e aos 28 DAA o controle apresentou medianas de 90,00% e 88,00% para a aplicação via RPA e terrestre, respectivamente.

Tabela 8 – Porcentagem de eficácia no controle de *Urochloa decumbens* a partir da aplicação de calda herbicida (glifosato) por diferentes métodos e com emprego de diferentes pontas, aos 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA)

Aplicação	Controle (%)		
	14 DAA <sup>1</sup>	21 DAA <sup>2</sup>	28 DAA <sup>2</sup>
AÉREA - RPA	77,19 a	93,00 a	90,00 a
TERRESTRE	75,50 a	95,00 a	88,00 a
Ponta			
XR 11001	78,06 a	95,00 a	90,00 a
AIRMIX 11001	74,62 b	90,00 b	85,00 b
Pressupostos	<b>W = 0,96; L = 0,35;</b> <b>DW = 2,07</b>	<b>W = 0,91; L = 0,33;</b> <b>DW = 2,57</b>	<b>W = 0,93; L = 0,20;</b> <b>DW = 1,68</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; <sup>2</sup> Medianas seguidas por letras distintas minúsculas na coluna se diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 0,05 de significância; *W*, *L* e *DW*: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Levene para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Jeevan *et al.* (2023) avaliaram o efeito de diferentes taxas de aplicação de herbicida para o controle de plantas daninhas na cultura do arroz transplantado (*Oryza sativa* L.). Para as aplicações via RPA foram estudadas as taxas de 15, 20 e 25 L ha<sup>-1</sup> e para a aplicação terrestre com um pulverizador costal manual foi utilizado a taxa de 500 L ha<sup>-1</sup>. Por meio dos resultados

os autores concluíram que a aplicação de 25 L ha<sup>-1</sup> via RPA proporcionou melhor eficácia no controle das plantas daninhas e maior produtividade da cultura, possivelmente devido à melhor deposição. Chen *et al.* (2023) não constataram, em seu estudo, diferença significativa entre a aplicação de calda herbicida [metamifop na dose de 120 g i.a. ha<sup>-1</sup> + cihalofop-butil na dose de 300 g i.a. ha<sup>-1</sup> + ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) acético (MCPA) na dose de 285 g i.a. ha<sup>-1</sup> + bentazona na dose de 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup>] com pulverizador costal elétrico (450 L ha<sup>-1</sup>) e via RPA (60 L ha<sup>-1</sup>) com rota cruzada (Norte-Sul e Leste-Oeste) na eficácia de controle de *Echinochloa* spp., *Leptochloa chinensis*, *Ammannia baccifera*, *Monochoria vaginalis* e *Cyperus difformis*. Para esses tratamentos citados, 60 DAA, o controle das plantas daninhas foi acima de 86%, o que caracteriza que nenhum tratamento apresentou controle abaixo do aceitável.

Paul *et al.* (2023) avaliaram a aplicação de calda herbicidas para o controle de plantas daninhas (*Echinochloa colona*, *Echinochloa crugalli*, *Leptochloa chinensis*, *Cyperus difformis*, *Bergia capensis*, *Ludwigia parviflora*, *Monochoria vaginalis*, *Ammannia baccifera* e *Eclipta alba*) na cultura do arroz em diferentes épocas. Para o tratamento com aplicações de pré-emergente pretilachlor (RPA: 40 L ha<sup>-1</sup> e pulverizador costal: 500 L ha<sup>-1</sup>) três dias após a semeadura (DAS) e com pós-emergente bispyribac-sodium (RPA: 30 L ha<sup>-1</sup> e pulverizador costal: 500 L ha<sup>-1</sup>) 20-25 DAS, não houve diferença significativa na eficácia entre os métodos de aplicação nas diferentes épocas de cultivo. Na estação chuvosa *kharif* (agosto a novembro) para a aplicação via RPA o controle foi de 82% e para o pulverizador costal foi de 83,5%. Na estação *rabi* (novembro a março) para a aplicação via RPA o controle foi de 80,1% e para o pulverizador costal foi de 80,9%.

Naveen *et al.* (2023) estudaram a eficácia da aplicação de calda herbicida (penoxsulam + cihalofop-butil) de pós-emergência em cultivo de arroz transplantado no controle de plantas daninhas. Com os resultados, os autores observaram que não houve diferença significativa entre as aplicações via pulverizador costal (500 L ha<sup>-1</sup>) e RPA (40 L ha<sup>-1</sup>). Confirmando que a redução do volume de calda de 500 L ha<sup>-1</sup> para 40 L ha<sup>-1</sup> é viável, pois não afeta a eficácia do herbicida. Assim como nesta pesquisa, onde a taxa de 10 L ha<sup>-1</sup> com aplicação via RPA não diferiu da aplicação com taxa de 100 L ha<sup>-1</sup> com o pulverizador costal. A utilização de volume de calda reduzido, sem perda de eficácia de controle pode permitir redução de custos (Moraes *et al.*, 2021).

A ponta XR 11001 apresentou maior controle das plantas daninhas para todos os dias avaliados, com 78,06% nos 14 DAA, 95,00% nos 21 DAA e 90,00% nos 28 DAA, quando comparada com as aplicações com a ponta AirMix 11001, que apresentou o controle em 74,62%

nos 14 DAA, 90,00% nos 21 DAA e 85,00% nos 28 DAA. Ferguson *et al.* (2018) descrevem que alguns herbicidas são menos eficazes quando as pulverizações apresentam gotas maiores, pois essas gotas podem não ser depositadas no alvo, principalmente para plantas alvo com folhas pequenas e estreitas. Pesquisas relacionadas à teoria da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários sugerem que gotas de 100 a 300  $\mu\text{m}$  são adequadas para pulverização de herbicidas (Song *et al.*, 2021), o que foi encontrado para a ponta XR 11001 desta pesquisa. Porém, ressalta-se que a partir dos 21 DAA, as duas pontas apresentaram controle satisfatório, acima de 84%.

Wang *et al.* (2023c) observaram que não houve diferença significativa para a eficácia biológica no controle de plantas daninhas em cultivo de trigo (*Triticum spp.*) para diferentes pontas de jato plano padrão e de jato plano com indução de ar. Em todos os casos, os valores de eficácia foram superiores a 80%. Os autores justificam que embora as gotas finas tendem a melhorar a adesão e a densidade das gotas nos alvos, elas também apresentam maior potencial de deriva, o que pode reduzir a deposição nos alvos.

Aliverdi e Karami (2020) avaliaram diferentes pontas (jato plano padrão, anti-deriva e jato plano com indução de ar), vazões (11002, 11003 e 11004) e saídas do jato (simples, duplo e triplo) com aplicação de diferentes doses de Cicloxidim de modo a atender a ED50 (dose necessária para atingir 50% de controle) da *Hordeum spontaneum* Koch. Como resposta observaram que o desempenho das pontas de jato plano padrão foi melhor que a ponta com indução de ar, pois apresentaram menor ED50, indicando aumento da eficiência do herbicida. Para se ter uma ideia, quando utilizada a ponta jato plano padrão 11002 com saída simples o ED50 foi 31,71, e para a ponta jato plano com indução de ar 11002 com saída simples o ED50 foi 54,91.

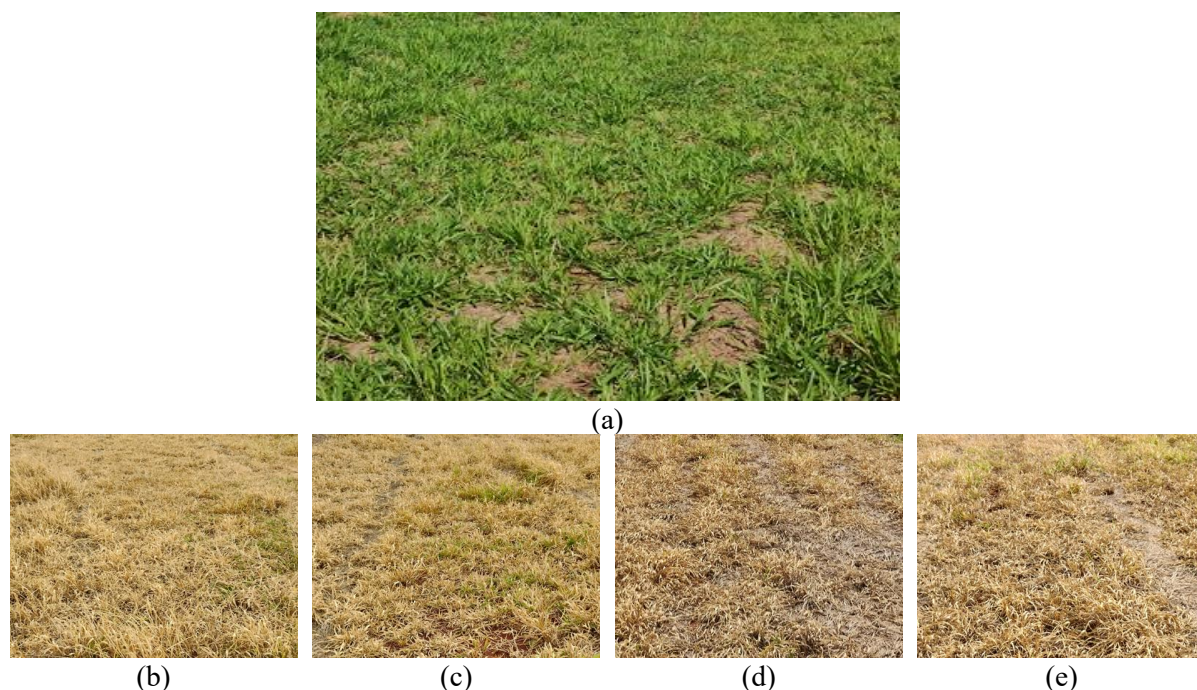
Homer Bannister, Prieto e Díaz Martínez (2020) estudaram o uso de diferentes pontas para aplicação de calda herbicida (glifosato) para o controle de plantas daninhas no cultivo de videira (*Vitis vinifera* L.) e observaram que não houve diferença significativa no controle de *Cyperus rotundus* L. e *Cynodon dactylon* (L.) Pers para as pontas jato plano padrão (XR) e jato plano com indução de ar (AI). O controle de *Sorghum halepense* (L.) Pers nos 42 DAA foi menor para a ponta XR (próximo a 75%) quando comparado a ponta AI (próximo a 85%).

Brankov *et al.* (2022) verificaram a eficácia de calda herbicida a base de nicosulfuron no controle de *Amaranthus retroflexus* L. e *Amaranthus hybridus* L. na cultura do milho (*Zea mays* L.) utilizando diferentes pontas (jato plano padrão XR 11002 e jato plano com indução de ar turbo TTI 11002) na aplicação. De acordo com os resultados obtidos, aos 7 e 14 DAA, foi

observada maior eficácia quando a aplicação foi realizada com a ponta XR 11002, em comparação com a ponta TTI 11002, sendo justificado pela diferença do espectro de gotas. A eficácia aos 21 DAA não apresentou diferença entre as pontas utilizadas, alcançando os 100%. O que significa que pontas que produzem gotas mais grossas poderiam ser utilizadas para essas aplicações, mitigando o movimento fora do alvo. Ribeiro *et al.* (2023) descrevem que os herbicidas de contato vão atuar apenas na área onde a calda é pulverizada. Portanto, nesse caso é preferível maior cobertura por gotas de diâmetros menores; já os herbicidas sistêmicos são absorvidos e translocados para o interior da planta, o que em grande parte dos casos, gotas com diâmetros maiores são suficientes para obtenção da eficácia.

Nesta pesquisa, como o observado na Tabela 8, após os 21 DAA o controle foi aceitável ou muito bom, apresentando valores igual ou superior a 85%. A imagem da eficácia de controle de *Urochloa decumbens* (%) aos 21 DAA da calda herbicida (glifosato) pode ser visualizada na Figura 7, para os diferentes tratamentos estudados. Aos 14 DAA, possivelmente, ainda não havia contemplado tempo suficiente para a atividade completa da molécula do herbicida no metabolismo das plantas.

Figura 7 – Eficácia de controle de *Urochloa decumbens* (%) 21 DAA da calda herbicida (glifosato) em função de diferentes métodos de aplicação e com emprego de diferentes pontas



(a) Área sem aplicação da calda herbicida; (b) RPA - XR 11001; (c) RPA - AirMix 11001; (d) TERRESTRE - XR 11001; (e) TERRESTRE - AirMix 11001.

DAA: dias após aplicação; RPA: aeronave remotamente pilotada.

Fonte: A autora, 2023.

Pereira *et al.* (2023) descrevem que herbicidas com ação sistêmica, geralmente necessitam de maior tempo para alcançar alto nível de toxicidade às plantas, uma vez que seus princípios ativos precisam ser redirecionados no interior da planta. Em sua pesquisa, 14 DAA o controle de *Urochloa brizantha* foi acima de 94% para os diferentes tratamentos, com formulações à base de glifosato aplicadas isoladamente e em combinações, e com diferentes doses. Brighenti *et al.* (2011) observaram que a aplicação com glifosato teve eficiência de controle de 85% aos 25 DAA para *Urochloa decumbens*. Silveira *et al.* (2019) constataram o controle de 100% de *Urochloa decumbens* aos 15 DAA, os autores justificam que em estádios iniciais de desenvolvimento dessas gramíneas o controle é facilitado devido aos tecidos das plantas apresentarem maior capacidade de transportar moléculas herbicidas e, apresentam menor capacidade de recuperação das injúrias causadas. Nessa pesquisa citada, a aplicação foi realizada quando as plantas continham de três a quatro perfilhos formados e altura média de 0,30 a 0,35 m.

#### 4 CONCLUSÕES

A aplicação do glifosato via RPA proporcionou maior deposição de calda no alvo e eficácia de controle de *Urochloa decumbens* semelhante, quando comparada à aplicação terrestre, mostrando-se como opção tecnicamente viável, mesmo resultando em menor cobertura e densidade de gotas.

A ponta XR 11001 proporcionou maior eficácia do controle de *Urochloa decumbens* e densidade de gotas. No entanto, resultou em espectro de gotas com menor DMV e maior porcentagem de volume de gotas menores de 100  $\mu\text{m}$ , o que implica maior risco de deriva.

A ponta AirMix 11001 apresentou menor eficácia no controle da *Urochloa decumbens* que a ponta XR 11001, porém esse controle foi igual ou superior a 85% a partir dos 21 DAA. Ainda, o desempenho desta ponta na deposição, cobertura e amplitude relativa foi semelhante ao da ponta XR 11001. Além disso, a porcentagem do volume de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  foi inferior a 1%, qualificando também esta ponta para o uso nas aplicações via RPA e terrestre, devido ao seu bom desempenho, principalmente no que diz respeito ao risco de deriva.

Em relação a deposição de calda, todas as aplicações apresentaram variabilidade aleatória, sendo indiferente ao processo, ou seja, o processo permaneceu estável, sob controle e com padrão de qualidade.

## REFERÊNCIAS

- ABD. KHARIM, M. N.; WAYAYOK, A.; MOHAMED SHARIFF, A. R.; ABDULLAH, A. F.; HUSIN, E. M. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, p. 105045, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105045>
- ABDELATEF, G. Effectiveness of some new water based insecticides against locust and grasshoppers applied as LV and ULV spray techniques in Egypt. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 12, n. 4, p. 307-311, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21608/jppp.2021.171269>
- ABDELMOTALIB, H. M.; DAFSARI, R. A.; SEUNG-HWA, Y.; LEE, J. Computational study of internal flow characteristics of the air induction nozzle. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 204, p. 106578, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2021.106578>.
- ADEUX, G.; VIEREN, E.; CARLESI, S.; BÀRBERI, P.; MUNIER-JOLAIN, N.; CORDEAU, S. Mitigating crop yield losses through weed diversity. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 11, p. 1018-1026, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y>
- ALI, S.; SHAMIM, R.; SHAH, I.; ALRWEILI, H.; MARCON, G. Memory-type control charts for censored reliability data. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 39, n. 6, p. 2365-2384, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.3347>
- ALIVERDI, A.; KARAMI, S. The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). **Iranian Plant Protection Research**, v. 33, n. 4, p. 465-474, 2020. DOI: 10.22067/JPP.V33I4.81208
- ALVARENGA, C. B. de; ZAMPIRÓLI, R.; CUNHA, J. P. A. R. da; RINALDI, P. C. N.; CUNHA, B. A. da; FARIA, L. O. Application rate and hydraulic tips used in remotely piloted aircraft affect the phytosanitary products in coffee plant canopies. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 46, n. 1, p. e62969, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.62969>
- APOLLON, W.; JEAN-BAPTISTE, Y.; WAGNER, B. J.; LUNA-MALDONADO, A.; SILOS-ESPINO, H. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de *Brachiaria brizantha*. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2637>
- ASABE. **ASABE S572. 1 Droplet size classification**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- AVILA NETO, R.; MELO, A. A.; ULGUIM, A. da R.; PEDROSO, R. M.; BARBIERI, G. F.; LUCHESE, E. F.; LEICHTWEISS, E. M. Mixtures of 2,4-D and dicamba with other pesticides and their influence on application parameters. **International Journal of Pest**

**Management**, v. 70, n. 2, p. 121-130, 2021. DOI:  
<https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1959082>

BADANI, H.; DJADOUNI, F.; HADDAD, F. Z. Effects of the herbicide glyphosate [n-(phosphonomethyl) glycine] on biodiversity and organisms in the soil – a review. **European Journal of Environmental Sciences**, v. 13, n. 1, p. 5-14, 2023. DOI:  
<https://doi.org/10.14712/23361964.2023.1>

BAIO, F. H. R.; ZANIN, A. R. A.; TEODORO, L. P. R.; FONTOURA, J. V. P. F.; TEODORO, P. E. Spray nozzle wear effects on droplet population. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 4, p. e20220070, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n4e20220070/2022>

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3 ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 247 p.

BIEGEL, T.; JOURDAN, N.; HERNANDEZ, C.; CVIKO, A.; METTERNICH, J. Deep learning for multivariate statistical in-process control in discrete manufacturing: A case study in a sheet metal forming process. **Procedia CIRP**, v. 107, p. 422-427, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.002>

BIGLIA, A.; GRELLA, M.; BLOISE, N.; COMBA, L.; MOZZANINI, E.; SOPEGNO, A.; PITTARELLO, M.; DICEMBRINI, E.; ALCATRÃO, L. E.; GUGLIERI, G.; BALSARI, P.; AIMONINO, D. R.; GAY, P. UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses. **Science of The Total Environment**, v. 845, p. 157292, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157292>

BRANKOV, M.; SIMIĆ, M.; TABAKOVIĆ, M.; VUKADINOVIĆ, J.; DJURIC, N.; BRANKOVIĆ-RADOJČIĆ, D.; DRAGIČEVIĆ, V. Weed management practices for redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and smooth pigweed (*A. hybridus* L.) control in maize. **Chilean journal of agricultural research**, v. 82, n. 4, p. 611-618, 2022. DOI:  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000400611>

BRANKOV, M.; ALVES, G. S.; VIEIRA, B. C.; ZARIC, M.; VUKOJA, B.; HOUSTON, T.; KRUGER, G. R. Particle drift simulation from mesotrione and rimsulfuron plus thifensulfuron-methyl mixture through two nozzle types to field and vegetable crops. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 13, p. 38226-38238, 2023. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24938-x>

BRIGHENTI, A. M.; SOUZA SOBRINHO, F. de; ROCHA, W. S. D. da; MARTINS, C. E.; DEMARTINI, D.; COSTA, T. R. Suscetibilidade diferencial de espécies de braquiária ao herbicida glifosato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1241-1246, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000018>

BUOSI, G. G. P.; NETO, A. D. R.; LOPES, P. R. M.; FERRARI, S.; GUERREIRO, J. C.; FILHO, P. J. F.; LIMA, R. C.; NASCIMENTO, V.; FUNICHELLO, M.; RAETANO, C. G.; PRADO, E. P. Droplet size and hydraulic spray nozzles in peanut plant spray deposition.



**Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 131, p. 27-33, 2023. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/s41348-023-00796-8>

BUTTS, T. R.; SAMPLES, C. A.; FRANCA, L. X.; DODDS, D. M.; REYNOLDS, D. B.; ADAMS, J. W.; ZOLLINGER, R. K.; HOWATT, K. A.; FRITZ, B. K.; HOFFMANN, C. W.; LUCK, J. D.; KRUGER, G. R. Droplet size impact on efficacy of a dicamba-plus-glyphosate mixture. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 66-74, 2019. DOI:  
<https://doi.org/10.1017/wet.2018.118>

CAMPOS, S. F. B.; CUNHA, J. P. A. R. da; ASSUNÇÃO, H. H. T.; ALVES, T. C.; ZANDONADI, C. H. S.; LEMES, E. M. Efficacy of glyphosate applied using an electrostatic sprayer as affected by adjuvant and carrier volumes. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020228417, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100092>

CARREÑO RUIZ, M.; BLOISE, N.; GUGLIERI, G.; D'AMBROSIO, D. Numerical Analysis and Wind Tunnel Validation of Droplet Distribution in the Wake of an Unmanned Aerial Spraying System in Forward Flight. **Drones**, v. 6, n. 11, p. 329, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.3390/drones6110329>

CASTRO BERMAN, M.; MARINO, D. J. G.; QUIROGA, M. V.; ZAGARESE, H. Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes from the Pampean and Patagonian regions of Argentina. **Chemosphere**, v. 200, p. 513-522, 2018. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.103>

CAVALARIS, C.; KARAMOUTIS, C.; MARKINOS, A. Efficacy of cotton harvest aids applications with unmanned aerial vehicles (UAV) and ground-based field sprayers – A case study comparison. **Smart Agricultural Technology**, v. 2, p. 100047, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100047>

CHEN, G.; AN, K.; CHEN, Y.; ZHUANG, X. Double-spraying with different routes significantly improved control efficacies of herbicides applied by unmanned aerial spraying system: A case study with rice herbicides. **Crop Protection**, v. 167, p. 106203, 2023. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106203>

CHEN, P.; DOUZALS, J. P.; LAN, Y.; COTTEUX, E.; DELPUECH, X.; POUXVIEL, G.; ZHAN, Y. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1-16, 2022a. DOI:  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.870956>

CHEN, P.; XU, W.; ZHAN, Y.; WANG, G.; YANG, W.; LAN, Y. Determining application volume of unmanned aerial spraying systems for cotton defoliation using remote sensing images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 196, p. 106912, 2022b. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106912>

CONG, W.; RENJIAN, Z.; XIAOBO, Z.; JIA, D.; WUZHOU, L.; YANXIN, S. Effect of settling distance on droplet size distribution of plant protection UAV. **Journal of Chinese Agricultural Mechanization**, v. 43, n. 3, p. 53-59, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2022.03.007>

CRYER, S. A.; ALTIERI, A. L.; SCHMUCKER, A. L.; DAY, K. M. Minimising atomisation drift potential by exploring the break-up of liquid sheets using multiphase methylated soybean and silicon oil emulsions. **Biosystems Engineering**, v. 202, p. 142-151, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.004>

CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Deposition of spray applied to a soybean crop using an unmanned aerial vehicle. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 4, n. 2, p. 8-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20210402.167>

CUNHA, J. P. A. R. da; SILVA, M. R. A. da. Spray deposition from a remotely piloted aircraft on the corn crop. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217862, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230027>

CUNHA, J. P. A. R. da; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Surface tension, hydrogen-ion potential and electrical conductivity in spray solutions of plant protection products and adjuvants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170030>

DELPUECH, X.; POUXVIEL, G.; COTTEUX, E.; VERGES, A.; DOUZALS, J. Evaluation of aerial drift during drone spraying of an artificial vineyard. **International Viticulture and Enology Society Technical Reviews, vine and wine**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2022.7212>

DJI. **AGRAS MG-1P User Manual**. V. 1.0, 2018. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/mg\\_1p/20181108/MG-1P\\_Series\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN\\_.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/mg_1p/20181108/MG-1P_Series_User_Manual_v1.0_EN_.pdf). Acesso em 19 de abril de 2023.

ESTEVEES, A. T.; OLIVEIRA JUNIOR, P. C. de; MARANGONI, J. A.; SANTOS, S. M. dos; SANTOS, J. M. dos; SILVA, R. M. M. F.; PEREIRA, Z. V.; FORMAGIO, A. S. N. Constituent content and allelopathic potential of eighteen extracts for the control of *Urochloa decumbens* under laboratory conditions. **South African Journal of Botany**, v. 158, p. 197-202, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.013>.

FARIA, A. P. de; FERNANDES, G. W.; FRANÇA, M. G. C. Physiological approaches to determine the impact of climate changes on invasive African grasses in the savanna ecoregion of Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 4, p. 3077-3088, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4343-5>.

FENG, H.; XU, P.; YANG, S.; ZHENG, Y.; LI, W.; LIU, W.; ZHAO, H.; JIANG, S. Back Pressure generated by downwash and crosswind on spatial atomization characteristics during UAV spraying: CFD analysis and verification. **Pest Management Science**, v. 80, n. 3, p. 1348-1360, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7865>

FERGUSON, J. C.; CHECHETTO, R. G.; ADKINS, S. W.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. **Crop Protection**, v. 112, p. 118-124, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.020>

FERGUSON, J. C.; O'DONNELL, C. C.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; WANG, R.; URACH FERREIRA, P. H.; HEWITT, A. J. Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. **Crop Protection**, v. 76, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.06.008>

FIALHO, C. M. T.; SILVA, A. A.; MELO, C. a. D.; COSTA, M. D.; SOUZA, M. W. R.; REIS, L. a. C. Weed interference in soybean crop affects soil microbial activity and biomass. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020221853, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100046>

FRANÇA, J. A. L.; CUNHA, J. P. A. R. da; ANTUNIASSI, U. R. Spectrum and velocity of droplets of spray nozzles with and without air induction. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 232-237, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n2p232-237/2018>

GARRIDO, R. M.; DAYAN, F. E.; KOLB, R. M. Herbicidal activity of smoke water. **Agronomy**, v. 13, n. 4, p. 975, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13040975>

GIBBS, J. L.; PETERS, T. M.; HECK, L. P. Comparison of droplet size, coverage, and drift potential from UAV application methods and ground application methods on row crops. **Transactions of the ASABE**, v. 64, n. 3, p. 819-828, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14121>

GODINHO JR., J. D.; VIEIRA, L. C.; RUAS, R. A. A.; CARVALHO FILHO, A.; FARIA, V. R.; GOD, P. I. V. G. Spray nozzles, working pressures and use of adjuvant in reduction of 2,4-D herbicide spray drift. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020223622, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100070>

GONG, C.; LI, D.; KANG, C. Effect of oil-based emulsion on air bubbles in the spray sheet produced through the air-induction nozzle. **Pest Management Science**, v. 78, n. 12, p. 5347-5357, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7157>

GRANT, S.; PERINE, J.; ABI-AKAR, F.; LANE, T.; KENT, B.; MOHLER, C.; SCOTT, C.; RITTER, A. A Wind-tunnel assessment of parameters that may impact spray drift during UAV pesticide application. **Drones**, v. 6, n. 8, p. 204, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6080204>

GRIESANG, F.; SPADONI, A. B. D.; URAH FERREIRA, P. H.; DA COSTA FERREIRA, M. Effect of working pressure and spacing of nozzles on the quality of spraying distribution. **Crop Protection**, v. 151, p. 105818, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105818>

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.23129>

GUO, Q.; ZHU, Y.; TANG, Y.; HOU, C.; HE, Y.; ZHUANG, J.; ZHENG, Y.; LUO, S. CFD simulation and experimental verification of the spatial and temporal distributions of the

downwash airflow of a quad-rotor agricultural UAV in hover. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, p. 105343, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105343>

HADIAN, H.; RAHIMIFARD, A. Multivariate statistical control chart and process capability indices for simultaneous monitoring of project duration and cost. **Computers & Industrial Engineering**, v. 130, p. 788-797, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.021>

HAFEEZ, A.; HUSAIN, M. A.; SINGH, S. P.; CHAUHAN, A.; KHAN, M. T.; KUMAR, N.; CHAUHAN, A.; SONI, S. K. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. **Information Processing in Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 192-203, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>

HOMER BANNISTER, I.; PRIETO, M.; DÍAZ MARTÍNEZ, M. Use of anti drift nozzles in control of perennial weeds in vineyard nurseries. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 52, n. 2, p. 337-348, 2020.

HUANG, J.; LUO, Y.; QUAN, Q.; WANG, B.; XUE, X.; ZHANG, Y. An autonomous task assignment and decision-making method for coverage path planning of multiple pesticide spraying UAVs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 212, p. 108128, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108128>

ISMAIL, S. A.; YAHYA, A.; SU, A. S. M.; ASIB, N.; MUSTAFAH, A. M. Drone payload and flying speed effects on rotor blades' RPM and traveling pattern for agricultural chemical spraying. **Basrah Journal of Agricultural Sciences**, v. 34, p. 157-170, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37077/25200860.2021.34.sp1.16>

JEEVAN, N.; PAZHANIVELAN, S.; KUMARAPERUMAL, R.; RAGUNATH, K.; ARTHANARI, P. M.; SRITHARAN, N.; KARTHIKKUMAR, A.; MANIKANDAN, S. Effect of different spray volumes on deposition characteristics of a fuel-operated UAV sprayer using herbicides in transplanted rice (*Oryza sativa*). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 93, n. 7, p. 720-725, 2023. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijas.v93i7.133995>

JORANI, R. M.; HADDAR, M.; CHAARI, F.; HADDAR, M. Gear crack detection based on vibration analysis techniques and statistical process control charts (SPCC). **Machines**, v. 11, n. 2, p. 312, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11020312>

KIMBI YAAH, V. B.; AHMADI, S.; QUIMBAYO M, J.; MORALES-TORRES, S.; OJALA, S. Recent technologies for glyphosate removal from aqueous environment: A critical review. **Environmental Research**, v. 240, p. 117477, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117477>

LAN, Y.; QIAN, S.; CHEN, S.; ZHAO, Y.; DENG, X.; WANG, G.; ZANG, Y.; WANG, J.; QIU, X. Influence of the downwash wind field of plant protection UAV on droplet deposition distribution characteristics at different flight heights. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2399, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11122399>

LANGNER, M.; ZHOU, B.; PRIESE, F.; WOLF, B. Statistical investigation of rotary fluidized bed agglomeration process with tangential spray and in-line particle size

measurement for PAT process control. **Processes**, v. 11, n. 4, p. 1066, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11041066>

LEIVA, V.; SANTOS, R. A. dos; SAULO, H.; MARCHANT, C.; LIO, Y. Bootstrap control charts for quantiles based on log-symmetric distributions with applications to the monitoring of reliability data. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 39, n. 1, p. 1-24, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.3072>

LIU, Q.; SHAN, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; LAN, Y. Evaluation of liquid atomization and spray drift reduction of hydraulic nozzles with four spray adjuvant solutions. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 236, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020236>

MANO, G. B.; LOPES, A.; PIEDADE, M. T. F. Will climate change favor exotic grasses over native ecosystem engineer species in the Amazon Basin?. **Ecological Informatics**, v. 75, p. 102102, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102102>

MENG, Y.; SU, J.; SONG, J.; CHEN, W.; LAN, Y. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, p. 105282, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282>

MILANOWSKI, M.; SUBR, A.; COMBRZYŃSKI, M.; RÓŻAŃSKA-BOCZULA, M.; PARAFINIUK, S. Effect of adjuvant, concentration and water type on the droplet size characteristics in agricultural nozzles. **Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 5821, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12125821>

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, v. 19, n. 8, p. 609-615, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00080-6)

MINITAB Inc. MINITAB®. Version 16.2, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 555 p.

MORAES, C. P. de; TROPALDI, L.; BRITO, I. P. F. S. de; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Determination of control dose of *Urochloa decumbens* by the glyphosate application. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i1.618>

MORAES, H. M. F. e; FERREIRA, L. R.; SOUZA, W. M. de; FARIA, R. M.; FREITAS, M. A. M. de; CECON, P. R. Volumen de pulverización, dosis y horario de aplicación de glifosato en el control de *Urochloa brizantha*. **BIOAGRO**, v. 33, n. 3, p. 151-161, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51372/bioagro333.1>

MORAIS, A. R. de. **Estatística Experimental: uma introdução aos delineamentos e análise de experimento**. Lavras: Ed. UFLA, 2001. 197 p.

MUR, M.; GADEA, S.; PONCE, M. J.; MERANI, V. H.; GUILINO, F. D.; BALBUENA, R. H. Spray nozzle performance on wheat. **Agrociencia (Uruguay)**, v. 24, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31285/agro.24.149>

NANAVATI, R. V.; MENG, Y.; COOMBES, M.; LIU, C. Generalized data-driven optimal path planning framework for uniform coverage missions using crop spraying UAVs. **Precision Agriculture**, v. 24, n. 4, p. 1497-1525, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-023-09999-3>

NAVEEN, L.; BHATT, P. S.; REKHA, K. B.; RAMPRAKASH, T. Assessment of Post Emergence Herbicide Efficacy for Drone Spraying in Transplanted Rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 10, p. 3281-3288, 2023. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102995>

OCHIENG', V.; RWOMUSHANA, I.; ONG'AMO, G.; NDEGWA, P.; KAMAU, S.; MAKALE, F.; CHACHA, D.; GADHIA, K.; AKIRI, M. Optimum flight height for the control of desert locusts using unmanned aerial vehicles (UAV). **Drones**, v. 7, n. 4, p. 233, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7040233>

ÖNLER, E.; ÖZYURT, H. B.; ŞENER, M.; ARAT, S.; EKER, B.; ÇELEN, İ. H. Spray characterization of an unmanned aerial vehicle for agricultural spraying. **The Philippine Agricultural Scientist**, v. 106, n. 1, p. 39-46, 2023.

ÖZYURT, H. B.; ÇELEN, İ. H. Determining the effect of different spraying nozzles on droplet distribution used for pesticide applications with unmanned aerial vehicles. **Journal of Agricultural Machinery Science**, v. 18, n. 3, p. 157-172, 2022.

PACHUTA, A.; BERNER, B.; CHOJNACKI, J.; MOITZI, G.; DVOŘÁK, J.; KEUTGEN, A.; NAJSER, J.; KIELAR, J.; NAJSER, T.; MIKESKA, M. Propellers spin rate effect of a spraying drone on quality of liquid deposition in a crown of young spruce. **Agriculture**, v. 13, n. 8, p. 1584, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081584>

PANDISELVAM, R.; MATHEW, A. C.; IMRAN, S.; PANDIAN, R. T. P.; MANIKANTAN, M. R. Design, development and evaluation of a tractor mounted air blast sprayer for coconut and arecanut. **Science Progress**, v. 106, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/00368504231199927>

PAUL, R. A. I.; ARTHANARI, P. M.; PAZHANIVELAN, S.; KAVITHA, R.; DJANAGUIRAMAN, M. Drone-based herbicide application for energy saving, higher weed control and economics in direct-seeded rice (*Oryza sativa*). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 93, n. 7, p. 704-709, 2023. DOI: <https://doi.org/10.56093/ijas.v93i7.137859>

PEREIRA, B. C. S.; BRAZ, G. B. P.; SOUZA, M. de F.; REGINALDO, L. T. R. T.; FERREIRA, C. J. B. Performance of glyphosate-based products applied alone and in combination with herbicides in burndown. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 765-774, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n404rc>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Ed. Nobel, 2000. 467 p.

R CORE TEAM. **The R Foundation for Statistical Computing Platform**. R Version, v. 4, 2020.

RENAUDO, C. A.; BERTIN, D. E.; BUCALÁ, V. A coupled atomization-spray drift model as online support tool for boom spray applications. **Precision Agriculture**, v. 23, n. 6, p. 2345-2371, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09923-1>

RIBEIRO, J. R. D.; RIBEIRO, L. F. O.; SANTOS, T. G. dos; NUNES, J. G. P.; RIBEIRO JÚNIOR, M. F.; VITÓRIA, E. L. da. TTI-110025 spray tip drops spectrum under different working pressures. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 161-169, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40825>

RIBEIRO, R. C.; CARVALHO, M. G. de; LOPES, H. M.; ROSSIELLO, R. O. P.; BARBIERI JUNIOR, É. Allelopathic activity of the hydrolate and water decoction of *Brachiaria humidicola* (Rendle) plant parts on the germination of four tropical leguminous species. **International Scholarly Research Notices**, v. 2012, p. e838767, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5402/2012/838767>

RICHARDSON, B.; ROLANDO, C.; HEWITT, A.; KIMBERLEY, M. Meeting droplet size specifications for aerial herbicide application to control wilding conifers. **New Zealand Plant Protection**, v. 73, p. 13-23, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30843/nzpp.2020.73.11712>

RODRIGUES, E. de A. S.; LIMA, S. do C. Associação entre a incidência do levantamento de índice rápido de *Aedes aegypti* (liraa) e as condições climáticas em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, entre 2014 a 2016. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 72, p. 251-263, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207245265>

SARRI, D.; MARTELLONI, L.; RIMEDIOTTI, M.; LISCI, R.; LOMBARDO, S.; VIERI, M. Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 50, n. 1, p. 38-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2019.853>

SAZYKIN, I.; NAUMOVA, E.; AZHOGINA, T.; KLIMOVA, M.; KARCHAVA, S.; KHMELEVTSOVA, L.; CHERNYSHENKO, E.; LITSEVICH, A.; KHAMMAMI, M.; SAZYKINA, M. Glyphosate effect on biofilms formation, mutagenesis and stress response of *E. coli*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 461, p. 132574, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132574>

SILVA, G. L. do C.; FARIAS, H. T.; OLIVEIRA NETO, J. de; BORGES, E. V.; COUTINHO, P. W. R. Phytosociological survey of weed plants and their pasture control. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 266-272, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v20i3.27488>

SILVEIRA, R. R.; SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; BRAZ, T. G. S.; SANTOS, J. B.; ANDRADE, J. C. A.; COSTA, J. P. R.; SILVA, A. M. S.; SILVA, L. D. Control and

susceptibility of signalgrass and ruzigrass to glyphosate and fluazifop-p-butyl. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 263, p. 403-410, 2019.

SONG, Y.; ZHU, F.; CAO, C.; CAO, L.; LI, F.; ZHAO, P.; HUANG, Q. Reducing pesticide spraying drift by folate/Zn<sup>2+</sup> supramolecular hydrogels. **Pest Management Science**, v. 77, n. 11, p. 5278-5285, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6570>

SUBR, A.; AL-AHMADI, A.; ABBAS, M. Effect of nozzle type and some locally used surfactants on the spray quality. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 51, n. 3, p. 856-864, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i3.1040>

THORNTON, K. L.; DEVEAU, J.; TRUEMAN, C. L. Deposition aids, nozzle selection and carrier volume on canopy deposition and management of Cercospora leaf spot in sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). **Crop Protection**, v. 167, p. 106198, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106198>

UENO, A. C.; VILA-AIUB, M. M.; GUNDEL, P. E. Intergenerational consequences of an auxin-like herbicide on plant sensitivity to a graminicide mediated by a fungal endophyte. **Science of The Total Environment**, v. 910, p. 168522, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168522>.

URACH FERREIRA, P. H.; FERGUSON, J. C.; REYNOLDS, D. B.; KRUGER, G. R.; IRBY, J. T. Droplet size and physicochemical property effects on herbicide efficacy of pre-emergence herbicides in soybean (*Glycine max* (L.) Merr). **Pest Management Science**, v. 76, n. 2, p. 737-746, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5573>

VASHAHI, F.; RA, S.; CHOI, Y.; LEE, J. A preliminary investigation of the design parameters of an air induction nozzle. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 31, n. 7, p. 3297-3303, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-017-0620-4>

VASILEIOU, M.; KYRGIAKOS, L. S.; KLEISIARI, C.; KLEFTODIMOS, G.; VLONTZOS, G.; BELHOUCLETTE, H.; PARDALOS, P. M. Transforming weed management in sustainable agriculture with artificial intelligence: A systematic literature review towards weed identification and deep learning. **Crop Protection**, v. 176, p. 106522, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106522>

WANG, B.; ZHANG, Y.; WANG, C.; TENG, G. Droplet deposition distribution prediction method for a six-rotor plant protection UAV based on inverse distance weighting. **Sensors**, v. 22, n. 19, p. 7425, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22197425>

WANG, C.; HERBST, A.; ZENG, A.; WONGSUK, S.; QIAO, B.; QI, P.; BONDS, J.; OVERBECK, V.; YANGF, Y.; GAO, W.; HE, X. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. **Science of The Total Environment**, v. 777, p. 146181, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>

WANG, C.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; HAN, L.; LI, Y.; ZHANG, H.; WONGSUK, S.; LI, Y.; WU, X.; HE, X. Spray performance evaluation of a six-rotor unmanned aerial vehicle sprayer



for pesticide application using an orchard operation mode in apple orchards. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2449-2466, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6875>

WANG, G.; ZHANG, T.; SONG, C.; YU, X.; SHAN, C.; GU, H.; LAN, Y. Evaluation of spray drift of plant protection drone nozzles based on wind tunnel test. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 628, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030628>

WANG, J.; LAN, Y.; WEN, S.; HEWITT, A. J.; YAO, W.; CHEN, P. Meteorological and flight altitude effects on deposition, penetration, and drift in pineapple aerial spraying. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 15, n. 1, p. e2382, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/apj.2382>

WANG, J.; MA, C.; CHEN, P.; YAO, W.; YAN, Y.; ZENG, T.; CHEN, S.; LAN, Y. Evaluation of aerial spraying application of multi-rotor unmanned aerial vehicle for *Areca catechu* protection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1093912>

WANG, M.; RIVENBARK, K. J.; PHILLIPS, T. D. Kinetics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid sorption onto montmorillonite clays in soil and their translocation to genetically modified corn. **Journal of Environmental Sciences**, v. 135, p. 669-680, 2024. DOI: [10.1016/j.jes.2023.02.006](https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.006)

WANG, S.; LI, X.; NUYTTENS, D.; ZHANG, L.; LIU, Y.; LI, X. Evaluation of compact air-induction flat fan nozzles for herbicide applications: Spray drift and biological efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023c. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1018626>

WEI, X.; PAN, Y.; ZHANG, Z.; CUI, J.; YIN, R.; LI, H.; QIN, J.; LI, A. J.; QIU, R. Biomonitoring of glyphosate and aminomethylphosphonic acid: Current insights and future perspectives. **Journal of Hazardous Materials**, v. 463, p. 132814, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132814>

WEN, S.; HAN, J.; NING, Z.; LAN, Y.; YIN, X.; ZHANG, J.; GE, Y. Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 166, p. 105036, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105036>

XU, W.; YU, X.; XUE, X. A binary gridding path-planning method for plant-protecting UAVs on irregular fields. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, n. 9, p. 2796-2809, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.02.029>

XUE, S.; HAN, J.; XI, X.; LAN, Z.; WEN, R.; MA, X. Coordination of distinctive pesticide adjuvants and atomization nozzles on droplet spectrum evolution for spatial drift reduction. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 66, p. 250-262, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2023.10.001>

XUE, S.; XI, X.; LAN, Z.; WEN, R.; MA, X. Longitudinal drift behaviors and spatial transport efficiency for spraying pesticide droplets. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 177, p. 121516, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121516>

XUE, X.; XU, X.; LYU, S.; SONG, S.; AI, X.; LI, N.; YANG, Z.; LI, Z. Experimental investigation on spray characteristics of agricultural full-cone pressure swirl nozzle. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 16, n. 4, p. 29-40, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.25165/ijabe.v%vi%i.7088>

XUN, L.; CAMPOS, J.; SALAS, B.; FABREGAS, F. X.; ZHU, H.; GIL, E. Advanced spraying systems to improve pesticide saving and reduce spray drift for apple orchards. **Precision Agriculture**, v. 24, n. 4, p. 1526-1546, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10007-x>

YANG, S.; XU, P.; JIANG, S.; ZHENG, Y. Downwash characteristics and analysis from a six-rotor unmanned aerial vehicle configured for plant protection. **Pest Management Science**, v. 78, n. 4, p. 1707-1720, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6790>

YU, S.; KANG, Y.; LEE, C. Comparison of the spray effects of air induction nozzles and flat fan nozzles installed on agricultural drones. **Applied Sciences**, v. 13, n. 20, p. 11552, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011552>

YUAN, F.; GU, C.; YI, K.; DOU, H.; LI, S.; YANG, S.; ZOU, W.; ZHAI, C. Atomization characteristics of a hollow cone nozzle for air-assisted variable-rate spraying. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1992, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13101992>

ZHAN, Y.; CHEN, P.; XU, W.; CHEN, S.; HAN, Y.; LAN, Y.; WANG, G. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. **Biosystems Engineering**, v. 216, p. 32-45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016>

ZHANG, J.; ZHAO, J.; SUN, J.; HE, Y.; XIE, Y.; LIANG, Q.; JING, J.; TAO, Y.; YU, P.; JIA, C.; ZHAO, E. Herbigation combined with plastic film mulching to control weeds in maize (*Zea mays* L.) fields in the Hexi Corridor region, Northwest China. **Crop Protection**, v. 176, p. 106485, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106485>

ZHANG, Y.; LI, Y.; HE, Y.; LIU, F.; CEN, H.; FANG, H. Near ground platform development to simulate UAV aerial spraying and its spraying test under different conditions. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 8-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.004>

ZHAO, R.; YU, M.; SUN, Z.; LI, L.; SHANG, H.; XI, W.; LI, B.; LI, Y.; XU, Y.; WU, X. Using tank-mix adjuvant improves the physicochemical properties and dosage delivery to reduce the use of pesticides in unmanned aerial vehicles for plant protection in wheat. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2512-2522, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6879>