

**INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - IFRS  
CAMPUS IBIRUBÁ**

**GABRIEL BRASIL RITZ**

**DETERMINAÇÃO DE LARGURA DE TRABALHO E  
REGULARIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS COM O  
USO DE DRONES**

**IBIRUBÁ**

**2025**

**GABRIEL BRASIL RITZ**

**DETERMINAÇÃO DE LARGURA DE TRABALHO E REGULARIDADE  
DE DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS COM O USO DE DRONES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Daniel Uhry.

Coorientadora: Suzana Ferreira da Rosa.

**IBIRUBÁ**

**2025**

**GABRIEL BRASIL RITZ**


**DETERMINAÇÃO DE LARGURA DE TRABALHO E REGULARIDADE  
DE DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS COM O USO DE DRONES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

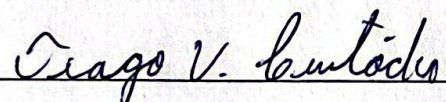
Orientador: Daniel Uhry.

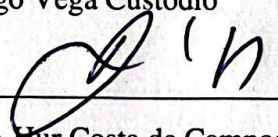
Coorientadora: Suzana Ferreira da Rosa.

Aprovado em 08 de julho, 2025.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Daniel Uhry – Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Marcos Paulo Ludwig

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tiago Vega Custódio

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ben-Hur Costa de Campos – Coordenador do  
Curso de Agronomia do IFRS – Campus Ibirubá

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança para concluir esta etapa da minha vida.

A minha mãe e ao meu pai pelo incentivo e por me proporcionarem a realização de cursar Agronomia.

A minha namorada Laís pelo apoio e incentivo durante esta caminhada.

Ao meu orientador Daniel Uhry por acreditar no meu potencial e por me guiar com sabedoria durante toda a pesquisa.

A minha coorientadora Suzana Ferreira da Rosa pelo suporte e colaboração.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá por me proporcionar um ensino gratuito e de qualidade, bem como pelas instalações e materiais utilizados ao longo da condução do experimento.

Aos meus colegas de turma por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas, aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Por fim, sou grato a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, participaram da realização desse projeto.

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Agronomia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

### **DETERMINAÇÃO DE LARGURA DE TRABALHO E REGULARIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS COM O USO DE DRONES**

AUTOR: GABRIEL BRASIL RITZ

ORIENTADOR: DANIEL UHRY

Ibirubá/RS, 08 de julho de 2025

Os VANTs ou Veículos Aéreos Não Tripulados, conhecidos popularmente como drones, têm se tornado equipamentos importantes para a agricultura brasileira e mundial. Entre suas utilizações pode-se destacar a obtenção de imagens aéreas para sensoriamento remoto, topografia, pulverização de líquidos e mais recentemente, distribuição de insumos sólidos em lavouras. A distribuição de sólidos por via aérea tem a possibilidade de entrar nas lavouras em diversas condições de solo e nos diferentes estádios de desenvolvimento das culturas, sem causar amassamento na cultura instalada, podendo ser utilizado, dentre outras maneiras, para fertilização em cobertura e/ou em sobressemeadura. Para realizar uma operação eficiente e sem deixar falhas nas áreas, é fundamental determinar a largura efetiva de trabalho na distribuição, sendo assim, o presente experimento teve como objetivo verificar a largura de trabalho e a regularidade de distribuição através do uso de drones, em três diferentes alturas de voos (5, 7 e 9 metros) e três diferentes doses de distribuição de ureia ( $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  e  $45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). O experimento foi realizado no IFRS Campus Ibirubá, o qual foi utilizado um drone da marca XAG, modelo P100, fornecido pela empresa JD Tec Agro. Foram distribuídas bandejas em uma área de 12 metros de largura. Após a passagem do drone, as amostras depositadas em cada bandeja foram pesadas em balança analítica. Os dados do número, tamanho e distância de bandejas, assim como o peso coletado em cada bandeja, foram adicionados ao software Adulção 3.0 para interpretação e geração dos gráficos com limite de coeficiente de variação de 20%. Os dados coletados no decorrer da pesquisa foram avaliados através da análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do programa computacional SISVAR. Com os resultados, conclui-se que as variações na altura de voo e nas doses de distribuição, dentro dos limites testados, não apresentaram diferenças estatísticas significativas, indicando que esses fatores não influenciaram na largura efetiva de trabalho. A qualidade da distribuição longitudinal manteve-se constante e regular, sem variações ao longo do deslocamento, também sem diferenças estatísticas. Recomenda-se distribuições no sentido de trabalho alternado para

esquerda, na altura de 5 metros, apresentando maiores larguras efetiva de trabalho e menor variação entre doses avaliadas.

**Palavras-chave:** VANTs; distribuidor centrífugo aéreo; dispersão de sólidos; tecnologia agrícola.

## ABSTRACT

Completion of course work

Agronomy Course

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

### DETERMINATION OF WORKING WIDTH AND REGULARITY OF DISTRIBUTION OF SOLIDS WITH THE USE OF DRONES

AUTHOR: GABRIEL BRASIL RITZ

ADVISOR: DANIEL UHRY

Ibirubá/RS, 08, 07, 2025

UAVs, or Unmanned Aerial Vehicles, popularly known as drones, have become important equipment for Brazilian and global agriculture. Their uses include aerial imagery for remote sensing, topography, liquid spraying, and, more recently, solid input distribution in crops. Aerial solids distribution allows for reaching crops in various soil conditions and at different stages of crop development without causing damage to the crop. They can be used, among other things, for topdressing and/or overseeding. To perform an efficient operation without leaving gaps in the areas, it is essential to determine the effective working width during distribution. Therefore, the present experiment aimed to verify the working width and distribution regularity using drones at three different flight heights (5, 7, and 9 meters) and three different urea distribution rates (15 kg.ha<sup>-1</sup>, 30 kg.ha<sup>-1</sup>, and 45 kg.ha<sup>-1</sup>). The experiment was conducted at the IFRS Ibirubá Campus, using an XAG P100 drone provided by JD Tec Agro. Trays were distributed over a 12-meter-wide area. After the drone passed over, the samples deposited in each tray were weighed on an analytical balance. Data on the number, size, and distance between trays, as well as the weight collected in each tray, were entered into the Adulção 3.0 software for interpretation and generation of graphs with a 20% coefficient of variation limit. The data collected during the study were evaluated using analysis of variance and Tukey's test at 5% probability using the SISVAR software. The results indicate that variations in flight height and distribution doses, within the tested limits, did not show statistically significant differences, indicating that these factors did not influence the effective working width. The quality of the longitudinal distribution remained constant and regular, with no variations throughout the flight, also without statistical differences. Distributions in an alternating working direction to the left are recommended at a height of 5 meters, resulting in greater effective working widths and less variation between the evaluated doses.

**Keywords:** UAVs; aerial centrifugal distributor; solids dispersion; agricultural technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Local delimitado onde foi realizado o experimento.....	9
Figura 2- Croqui da distribuição das bandejas coletoras.....	10
Figura 3- Distribuição das bandejas para coleta das partículas.....	10
Figura 4- Grades internas para minimizar o repique das partículas nas bandejas.....	11
Figura 5- Drone utilizado no experimento da marca XAG modelo P100.....	11
Figura 6- Novo sistema de distribuição de insumos sólidos com roscas alimentadoras Revo Cast 2.....	12
Figura 7- Abastecimento da ureia da marca Cibra utilizada para o experimento no tanque do drone.....	13
Figura 8- Calibração e aferição dos sistemas e componentes do drone utilizado no experimento.....	13
Figura 9- Termo-higro-anemômetro digital da marca AKROM utilizado para aferir as condições climáticas para a realização dos voos.....	14
Figura 10- Demonstração da rota de distribuição do insumo utilizado no experimento.....	15
Figura 11- Balança analítica de 3 casas após a vírgula utilizada nas pesagens das amostras coletadas.....	16
Figura 12- Demonstração da pesagem de algumas amostras do insumo avaliado no experimento.....	16
Figura 13- Ilustração do percurso alternado e contínuo de distribuição de insumos.....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Largura efetiva de trabalho, no sentido de trabalho alternado para esquerda, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.....	24
Tabela 2- Largura efetiva de trabalho, no sentido de trabalho alternado para direita, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.....	26
Tabela 3- Largura de trabalho, no sentido de trabalho contínuo, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.....	27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1.1	Veículos aéreos não tripulados (VANTs) ou drones .....	3
2.1.2	Aplicações e benefícios dos drones para a agricultura .....	4
2.1.3	Utilização dos drones para distribuição de insumos sólidos .....	6
2.1.4	Fatores que influenciam na distribuição de sólidos .....	6
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.2.1	Caracterização da área experimental.....	9
2.2.2	Equipamento utilizado.....	11
2.2.3	Descrição e condução dos tratamentos utilizados .....	12
2.2.4	Percurso de distribuição na geração dos gráficos .....	17
2.2.5	Análise estatística .....	18
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>
	REFERÊNCIAS .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado como um dos principais produtores de grãos do mundo. Nesse sentido, o aumento significativo na produção do agronegócio tem impulsionado o aparecimento de novas tecnologias para melhorar ainda mais o manejo agrícola. Entre elas, estão os drones, os quais têm sido utilizados para aplicação de defensivos na agricultura ou distribuição de sólidos apresentando diversas vantagens, incluindo a possibilidade de entrada na lavoura em diversas condições de solo e nos diferentes estágios de desenvolvimento das culturas sem causar amassamento, além de se mostrar como alternativa para uso em áreas com declive acentuado que por vezes dificulta a mecanização agrícola.

A entrada dos drones na agricultura ganhou popularidade a partir da década de 1990, quando as tecnologias de posicionamento global, como o GNSS (Sistema de navegação por satélite), tornaram-se amplamente disponíveis e acessíveis (Medeiros; Silva, 2021). Este aumento significativo no uso de drones mostra-se como uma alternativa para impulsionar a agricultura brasileira e diversificar o seu manejo.

Atualmente, os drones têm sido utilizados, principalmente, como método de aplicação de agrotóxicos, fertilizantes, inoculantes, corretivos, sementes e introdução de agentes biológicos na lavoura via aérea, para a semeadura e fertilização em cobertura e em sobressemeadura (Cavalcante *et al.*, 2022). Também possui aplicações no monitoramento e sensoriamento remoto de áreas agrícolas, trazendo um maior detalhamento para o planejamento das áreas agrícolas.

Outra alternativa possível para o uso de drones é a sua utilização para compor o vazio outonal, ou seja, o período entre a safra de verão e a de inverno em que o solo fica descoberto e sem cultivo. Com o drone, é possível sobrevoar a lavoura em sua fase final de desenvolvimento, na área prestes a ser colhida, semeando uma cultura de cobertura, sem danificar as plantas existentes. Após a colheita, a nova cultura já está em estágio inicial de desenvolvimento, ganhando semanas no ciclo produtivo. Caso o solo fique exposto, ou seja, sem cobertura, estará sujeito a erosão e a perda de nutrientes por lixiviação. Por isso, utilizar o drone, como forma de implantar uma cobertura vegetal na área, através da semeadura a lanço de sementes de forrageiras como nabo, ervilhaca e trigo mourisco, pode melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo. Essa cobertura vegetal pode auxiliar a proteger o solo contra processos erosivos e, por meio do processo de simbiose, também fixa o nitrogênio do ar, fertilizando o solo.

Por isso, a prática de compor o vazio outonal é uma alternativa viável para a agricultura. Para a sua realização deve-se realizar a sobressemeadura da cultura desejada da colheita da cultura já cultivada. Tendo em vista que os equipamentos terrestres causam amassamento e perdas na colheita muitas vezes inviabilizando essa prática, tornando as aplicações aéreas uma alternativa mais viável, principalmente utilizando drones, por terem um custo de operação menor quando comparado a aviões ou helicópteros.

A distribuição de fertilizantes é um processo essencial para a manutenção de níveis de nutrientes no solo, adequados ao desenvolvimento das culturas. Nos últimos anos, os drones têm se mostrado como uma possibilidade promissora para entrar em áreas de difícil acesso ou como alternativa aos distribuidores terrestres, visando distribuir insumos e fertilizantes para auxiliar nas correções e adubações do solo, sem entrar em contato direto com o mesmo.

Para uma operação eficiente e sem falhas na área, é fundamental determinar a largura efetiva de trabalho e a regularidade de distribuição. A falta de informações sobre a utilização e o desempenho de drones para a distribuição de insumos sólidos, como a ureia, se torna um impasse para a adoção da prática no meio agrícola. Assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar a largura de trabalho e a regularidade de distribuição através do uso de drones, de forma a determinar sua qualidade e eficiência na distribuição de insumo sólido utilizando a ureia.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Veículos aéreos não tripulados (VANTs) ou drones

Os VANTs são conhecidos popularmente por drones ou Remotely Piloted Aircraft (RPAs), que traduzindo significa Aeronave Pilotada Remotamente (Souza; Souza; Costa, 2016). Este equipamento pode receber comandos por meio de radiofrequência, infravermelho e, até mesmo, rotas pré-programadas com coordenadas de navegação por satélite (GNSS - Global Navigation Satellite System), utilizando seu sistema embarcado (Zhang *et al.*, 2019).

Em seguida, com o avanço dessa tecnologia, houve a sua participação em conflitos armados e operações militares. Durante a Primeira Guerra Mundial os Estados Unidos desenvolveram o RPA chamado Kettering Bug (Garcia, 2020). O projeto decolava por meios próprios sem interferência de um piloto dentro da aeronave, e uma vez no ar, o nivelamento era mantido por um giroscópio que controlava a altitude com base nas leituras de um barômetro analógico (Garcia, 2020).

O drone em que ficou marcado na história dos drones, o qual conhecemos hoje em dia, foi criado pelo engenheiro espacial israelita Abraham Karem e segundo ele, em 1977, época de sua chegada nos EUA, 30 pessoas eram necessárias para controlar apenas um drone (Calixto, 2018). Diante desta situação, ele fundou a empresa Leading System e, utilizando poucos recursos tecnológicos, como fibra de vidro caseira e restos de madeira, dando origem ao drone chamado Albatross, posteriormente recebeu financiamento da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) para os aprimoramentos necessários para o protótipo (Calixto, 2018). Segundo James (2018), os RPAS serviram como a principal arma para combate ao terrorismo, na vigilância de territórios, atacando alvos estratégicos e neutralizando o inimigo.

Nos anos 2000, os RPAS começaram a ser utilizados por cidadãos para diversas aplicações como verificação de cabos elétricos, segurança e na agricultura (Herwitz *et al.*, 2004). Em 2002, o RPAS Pathfinder-Plus, construído pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), foi utilizado em missões em lavouras de café no Havaí, onde foram capturadas imagens a cores e multiespectrais que foram essenciais para detectar áreas com plantas daninhas, deficiências na irrigação, correção de fertilidade do solo e para avaliar a maturação dos frutos indicando o período para realizar a colheita (Herwitz *et al.*, 2004).

Portanto, através dessas observações, podemos constatar que os VANTs ou drones, desde a antiguidade, possuem diversas aplicações e utilizações não apenas para a agricultura, mas também para diferentes áreas de importância global.

### **2.1.2 Aplicações e benefícios dos drones para a agricultura**

Os VANTs apresentam algumas vantagens quando comparados aos outros implementos que exercem as mesmas funções, como os distribuidores centrífugos terrestres e equipamentos utilizados para a pulverização convencional. Entre elas, destaca-se sua adaptabilidade frente às diversas condições locais e situações (Casseiro; Pinto, 2014), como por exemplo, áreas de difícil acesso e condições de solo inapropriadas para veículos terrestres.

Em relação ao seu uso agrícola, pesquisadores destacam o trabalho com drones como uma alternativa aos aplicadores terrestres, assim evitando o amassamento da cultura, independência das condições do solo para o acesso, menor consumo de água, agilidade na aplicação e acesso a áreas de difícil alcance (Soares, 2022). Os drones também possibilitam uma na aplicação, em diferentes condições do solo, não interferindo nas condições físicas da plantação, promovendo maior eficiência no manejo das lavouras.

Atualmente, os drones são muito utilizados na agricultura, realizando aplicações de produtos químicos nas plantações, fotografando a lavoura para identificar focos de praga, além de atuar na distribuição de sólidos e no mapeamento de áreas de plantação. Por meio do uso de drones, é possível realizar a análise da plantação, detecção de doenças ou pragas, falhas na semeadura ou excesso/falta de irrigação (Cavalcante *et al.*, 2022).

A detecção de pragas e doenças em culturas agrícolas é uma das aplicações dos drones na agricultura atual. Utilizando equipados com câmeras multiespectrais e diversos sensores térmicos, os drones são capazes de identificar alguns sinais precoces de infestação e infecção de doenças nas culturas, permitindo que os agricultores tomem medidas preventivas antes que os problemas se tornem severos (Scussel, 2016).

Os drones vem se tornando uma alternativa interessante para a agricultura. Conforme Meinen Feil (2018) *apud* Gonçalves; Cavichioli (2021), pode-se citar a redução do tempo de monitoramento da área cultivada, mapeamento de áreas de difícil acesso, descobrimento de adversidades na plantação (como pragas, doenças e excesso ou escassez na irrigação), a disponibilização de mais informações para a tomada de decisão, o aumento da produtividade, a

redução do impacto ambiental e a medição da quantidade de água e nutrientes no solo, permitindo avaliar sem a entrada na área, com custo reduzido e imagens de alta qualidade, que sem ele não seria possível.

De acordo com Luchetti (2019), a utilização dos drones nos apresenta algumas vantagens, como: aplicação e distribuição em áreas de difícil acesso, utilização em áreas muito íngremes ou com obstáculos onde os demais pulverizadores terrestres não conseguem realizar operações, talvez, esta seja a maior vantagem da utilização de drones na agricultura. Fatores que podem prejudicar a pulverização e distribuição com tratores ou até mesmo impossibilitar o manejo nas áreas de cultivo, o acesso com drones, então, em alguns casos, é a única alternativa viável.

O drone também nos permite realizar aplicações em taxa variável ou em locais específicos somente na área de interesse e conseqüentemente há uma economia de produto e evita o amassamento que em outros casos seria causada por aplicações por pulverizadores de arrasto (Luchetti, 2019).

Toda tecnologia apresenta suas vantagens e desvantagens. Nesse sentido, segundo Meinen Feil (2018) *apud* Gonçalves; Cavichioli (2021), um impasse para a utilização dos drones consiste no custo de implantação mais alto, podendo ser considerado como desvantagem, assim como, restrições para o voo com limite de altura e velocidade, documentações necessárias para pilotagem dos drones e em alguns drones multirotores, o baixo tempo de operação no ar, assim reduzindo o rendimento operacional.

Conforme os dados expostos pelo Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG) as principais atividades vinculadas à utilização dos drones na agricultura nos últimos anos estão relacionadas ao mapeamento, atividades de pulverização, distribuição de sólidos e topografia. Hoje em dia, os drones possuem câmeras capazes de mensurar a estimativa de produtividade em várias culturas e cultivos, também possuem a capacidade de identificar a existência de focos de pragas nos cultivos, realizam o mapeamento de adubação e irrigação da plantação, e até mesmo o mapeamento para a realização de ações corretivas (Sindag, 2018).

### **2.1.3 Utilização dos drones para distribuição de insumos sólidos**

Segundo Sreekantha; Raio (2018), os VANTs têm sido amplamente aplicados na distribuição de fertilizantes e, ao contrário das máquinas terrestres, as operações aéreas podem melhorar a eficiência da aplicação de fertilizantes na parcela alvo sem tocar na copa da cultura e na superfície da cultura. A aplicação aérea permite um crescimento mais estável das plantas e diminui a poluição ambiental causada pela aplicação menos controlada de nutrientes pela tecnologia tradicional de aplicação de fertilizantes (Sui, 2019).

Os drones assim como outras formas de aplicação também proporcionam uma aplicação controladas de fertilizantes, herbicidas, fungicidas, distribuição de insumos sólidos para adubação e correção das áreas e principalmente na distribuição de sementes para sobresemeadura, assim se tornando um grande aliado no manejo de controle contra o vazio outonal. A aplicação eficiente desses insumos agrícolas é um desafio persistente para qualquer produtor (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

Com a chegada dos serviços aeroagrícolas com drones, vieram às alternativas nas aplicações de insumos na lavoura, podendo ser utilizado em áreas de difícil acesso e em diferentes estádios fenológicos das plantas. A modernização da agricultura no Brasil ainda é limitada pelo acesso a financiamentos e linhas de crédito (Terra Magma, 2022).

O cultivo de arroz em solos alagados, normalmente envolvem o uso de máquinas agrícolas que realizam a semeadura diretamente no solo das quadras de arroz. No entanto, conforme Campoar (2023), esse método muitas vezes pode possuir diversas limitações ou até mesmo não proporcionar os melhores resultados, dependendo das condições do terreno a ser utilizado. Ao adotar a semeadura por meio de drones, possui algumas vantagens, como: agilidade no transporte, economia de combustível, semeadura independente das condições do solo, trabalho contínuo entre outras (Campoar, 2023).

### **2.1.4 Fatores que influenciam na distribuição de sólidos**

O correto uso de equipamentos denominados de distribuidores de corretivos e fertilizantes é de extrema importância para se atingir as metas de produtividade desejadas (Baio; Molin; Leal, 2012). Segundo Portella; Batista (2012), no Brasil os ensaios de distribuidores de

fertilizantes são realizados de forma, onde utilizam-se bandejas para coletar o produto e, posteriormente, é realizada a pesagem em balança eletrônica.

Conforme Embrapa (2010), para que os ensaios sejam realizados com condições meteorológicas ideais, deve-se ter a ausência de chuva, umidade relativa do ar abaixo de 80% e velocidade máxima do vento inferior a 2,0 m/s (7,2 km/h). O vento, é um fator que afeta a distância e, conseqüentemente, o padrão de distribuição (Baio; Molin; Leal, 2012).

De acordo com Hofstee; Huisman (1990), as propriedades físicas das partículas de um fertilizante dependem do processo de produção e do uso de aditivos como condicionadores e micronutrientes. Já, segundo Molin (2009), algumas propriedades físicas das partículas dos fertilizantes podem afetar diretamente na qualidade da aplicação desses fertilizantes granulados em superfícies. Os processos de fabricação e a utilização de aditivos também influenciam diretamente na resistência mecânica da partícula (Hofstee; Huisman, 1990).

É do entendimento comum que a granulometria, seguida da densidade das partículas são as propriedades que exercem maior interferência na aplicação com distribuidores centrífugos (Fulton; Port, 2016). A granulometria do produto vai interferir na distância em que a partícula atingirá o solo. Quanto maior a granulometria, maior é a distância de arremesso (Senar, 2017).

Conforme Fulton; Port (2016), o tamanho de partícula é a medida do tamanho médio dos grânulos, onde normalmente é medido por um único diâmetro, mas nominal, para uma carga inteira ou amostra de fertilizante. Como o tamanho das partículas varia dentro do fertilizante, a distribuição do tamanho das partículas (granulometria), que mostra a variabilidade no tamanho, é normalmente estudada e medida para os fertilizantes (Fulton; Port, 2016). O tamanho de partícula e a distribuição dos diferentes tamanhos têm influência direta na largura e uniformidade da aplicação por distribuidores centrífugos (Fulton; Port, 2016).

A fluidez ou escoabilidade, junto com a consistência ou dureza, estão ligados diretamente aos fatores que influenciam em uma boa distribuição, pois um produto que tenha uma boa dureza não irá fracionar suas partículas gerando uma desuniformidade de medidas (Senar, 2020). A consistência do fertilizante é o grau de dureza da partícula, ou seja, a sua resistência ao fracionamento e ao processo de esfarelamento. As quebras de partículas geram partículas menores (Senar, 2017).

Um insumo com boa fluidez facilita o escoamento das partículas do tanque para os distribuidores assim não ocasionando uma diferença na alimentação dos mesmos (Senar, 2017).

A fluidez é a facilidade com que ocorre o livre escoamento do produto do reservatório e do sistema dosador até o sistema distribuidor da máquina (Senar, 2020). Produtos com umidade excessiva e empedrados têm dificuldade de escoabilidade dentro dos mecanismos da máquina, ocasionando distribuições desuniformes (Senar, 2017).

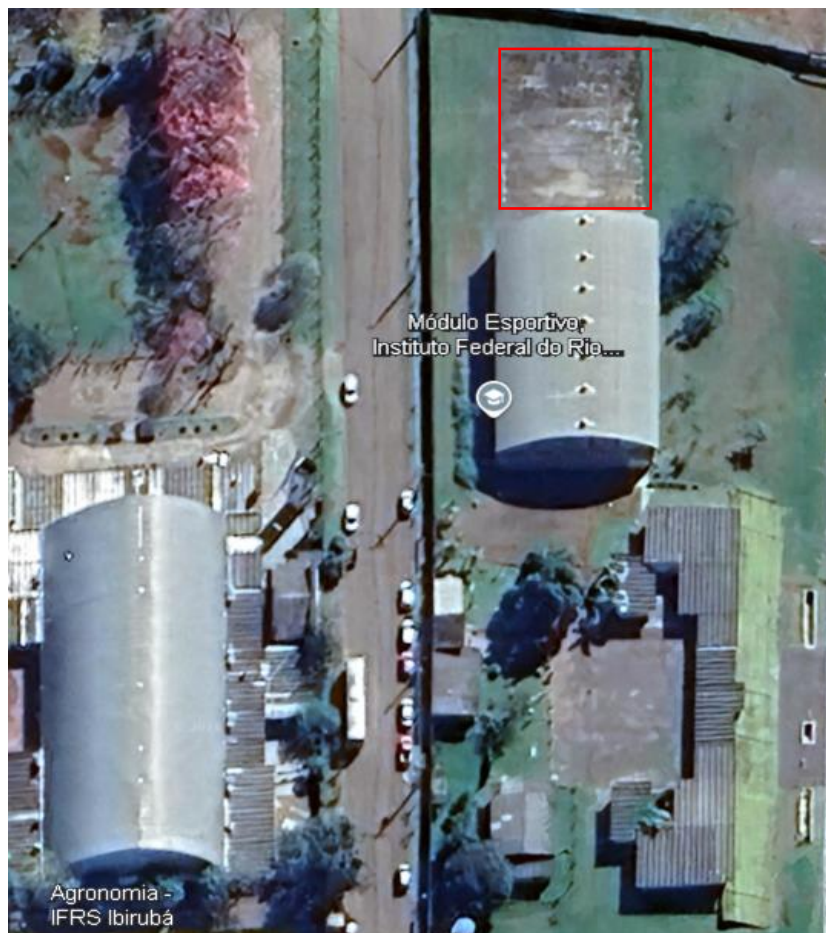
O Coeficiente de Variação (CV%) é um parâmetro muito utilizado para medir disparidades em dados coletado (Molin, 2009). De acordo com Valdez (1978), um perfil de distribuição com coeficiente de variação pode chegar a 33% e mesmo assim será suficientemente uniforme, não chegando a afetar significativamente o rendimento da cultura. Conforme Ortiz-Cañavate; Hernánz (1989), coeficientes de variação próximos a 30% são eficientes para materiais pulverulentos e para adubos granulados 20%.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Ibirubá, mais precisamente em uma área próxima ao módulo esportivo (Figura 1) com coordenadas geográficas 28°38'53'' S e 53°06'09'' W. Segundo Moreno (1961), a classificação climática da área de estudo consiste em uma região de clima do tipo “Cfa”, subtropical úmido, tendo como características climáticas principais, a temperatura média de 19°C e precipitação média anual de 1826 mm.

Figura 1- Local delimitado onde foi realizado o experimento

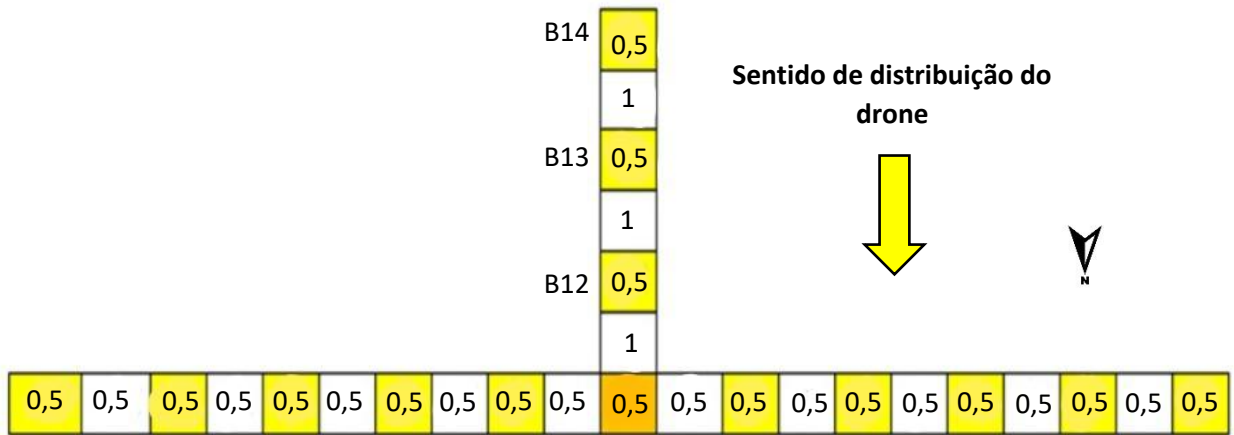


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a realização do experimento, foi delimitada uma área de 12 metros de largura, onde foram dispostas 11 bandejas coletoras e distribuídas perpendicularmente no sentido de deslocamento do drone (quadrados amarelos), para a determinação do perfil transversal e da largura efetiva de distribuição, com espaçamento de 0,57 metros entre elas. Para avaliar a

regularidade de distribuição foram contabilizadas as bandejas B6 e acrescentadas as bandejas B12, B13 e B14 (Figuras 2 e 3). A metragem das bandejas utilizadas foi de 0,4 x 0,4 x 0,1 metros, onde as mesmas possuíam grades internas para minimizar o repique das partículas para obter maior precisão na coleta dos grânulos (Figura 4).

**Figura 2-** Croqui da distribuição das bandejas coletoras



Fonte: Uhry (2023).

**Figura 3-** Distribuição das bandejas para coleta das partículas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

**Figura 4-** Grades internas para minimizar o repique das partículas nas bandejas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 2.2.2 Equipamento utilizado

O equipamento utilizado para a avaliação foi o drone da marca XAG modelo P100 (Figura 5), o qual estava em perfeitas condições de uso. Este, possui um novo sistema de distribuição de sólidos Revo Cast 2, composto por discos e roscas alimentadoras onde os discos espalhadores centrífugos trabalham no sentido vertical, assim tendo forte capacidade de resistência ao vento tendo uma distribuição precisa (Figura 6), podendo trabalhar com uma velocidade de voo de até 13,8 m/s, dessa forma, com apenas um conjunto de baterias de 20000 mAh é suficiente para espalhar 280 kg de fertilizante. O mesmo possuía um tanque com capacidade de 60 litros de volume, para distribuição de sólidos, com um sensor que detecta os grânulos restantes para evitar falhas e voar com o recipiente para grânulos vazio.

**Figura 5-** Drone utilizado no experimento da marca XAG modelo P100



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

**Figura 6-** Novo sistema de distribuição de insumos sólidos com roscas alimentadoras Revo Cast 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 2.2.3 Descrição e condução dos tratamentos utilizados

Objetivo: O experimento teve como intuito, analisar a largura efetiva de trabalho na distribuição de insumos sólidos e o perfil transversal dessa distribuição.

As variáveis altura de voo e dose de distribuição de ureia, foram três alturas de voo ( $A_1=5$  metros,  $A_2=7$  metros e  $A_3=9$  metros) e em três diferentes doses ( $D_1=15$  kg.ha<sup>-1</sup>,  $D_2=30$  kg.ha<sup>-1</sup> e  $D_3=45$  kg.ha<sup>-1</sup>).

Inicialmente, foi realizado o abastecimento da ureia, da marca Cibra com 46% de N (Figura 7), no drone utilizado, e após o abastecimento foi efetuado a calibração e aferição dos componentes do drone (Figura 8). Foi elaborado o mapeamento da área do experimento e traçado a rota de distribuição. Estas operações foram executadas pela empresa parceira e capacitada para que tivéssemos uma melhor precisão nos resultados finais. Neste momento, também foram realizadas as verificações das condições climáticas, utilizando um termo-higro-anemômetro digital (Figura 9). As condições estavam propícias para o início dos voos, ou seja, a velocidade do vento era de 1 m/s ou 3,6 km/h, a umidade relativa do ar se encontrava em 45% e a temperatura marcava 27°C.

**Figura 7-** Abastecimento da ureia da marca Cibra utilizada para o experimento no tanque do drone



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

**Figura 8-** Calibração e aferição dos sistemas e componentes do drone utilizado no experimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

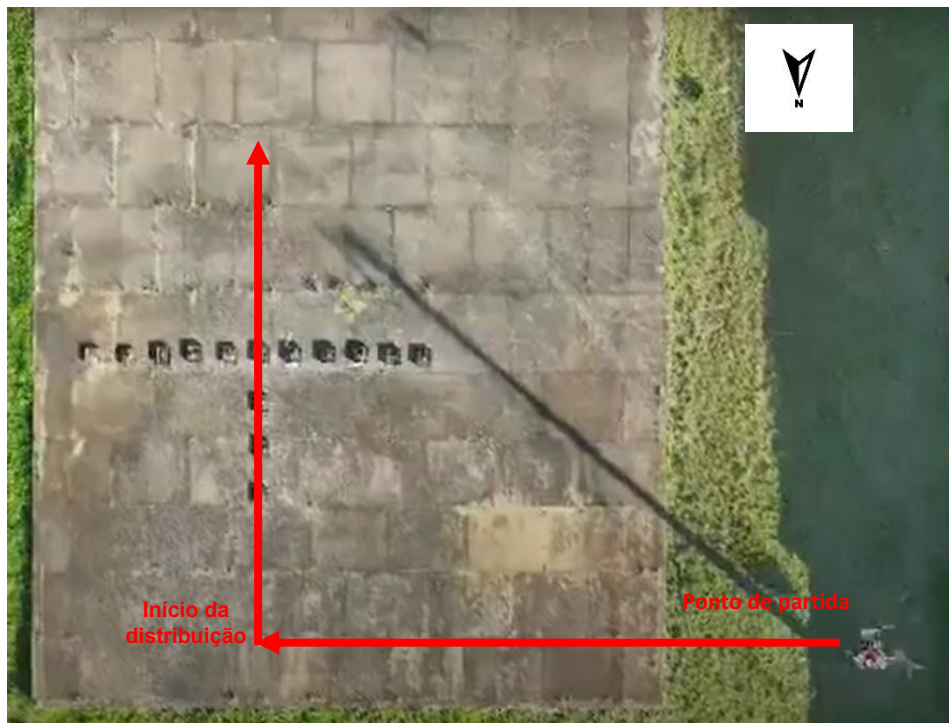
**Figura 9-** Termo-higro-anemômetro digital da marca AKROM utilizado para aferir as condições climáticas para a realização dos voos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As avaliações foram iniciadas pelo primeiro tratamento, o qual consistia na altura de 5 metros de dose de  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Traçou-se a rota da distribuição (Figura 10) e após a passagem do drone e distribuição da ureia recolheu-se, separadamente, os insumos depositados em cada bandeja coletora. Após isso, foram coletadas cada amostra e colocadas em sacos plásticos com identificação adequada, para posterior pesagem em uma balança analítica, com 3 casas após a vírgula, para maior precisão. Repetiu-se este processo três vezes utilizando todos os tratamentos, os quais estão descritos na Quadro 1. No total, esse experimento contou com 27 voos e 378 amostras coletadas.

**Figura 10-** Demonstração da rota de distribuição do insumo utilizado no experimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

**Quadro 1-** Tratamentos utilizados nas avaliações do experimento. Ibirubá/RS - 2024.

A1= 5 metros de altura	D1= 15 kg.ha <sup>-1</sup>
A1= 5 metros de altura	D2=30 kg.ha <sup>-1</sup>
A1= 5 metros de altura	D3=45 kg.ha <sup>-1</sup>
A2= 7 metros de altura	D1= 15 kg.ha <sup>-1</sup>
A2= 7 metros de altura	D2=30 kg.ha <sup>-1</sup>
A2= 7 metros de altura	D3=45 kg.ha <sup>-1</sup>
A3= 9 metros de altura	D1= 15 kg.ha <sup>-1</sup>
A3= 9 metros de altura	D2=30 kg.ha <sup>-1</sup>
A3= 9 metros de altura	D3=45 kg.ha <sup>-1</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a finalização dos voos e a coleta dos grânulos, foi realizada a pesagem do conteúdo de cada amostra, separadamente, em uma balança analítica, com 3 casas após a vírgula. Esta era fechada, com vidro nas laterais e em cima, para que não houvesse interferência externa nos resultados, como por exemplo a influência do vento ou outras partículas (Figuras 12 e 13).

**Figura 11-** Balança analítica de 3 casas após a vírgula utilizada nas pesagens das amostras coletadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

**Figura 12-** Demonstração da pesagem de algumas amostras do insumo avaliado no experimento



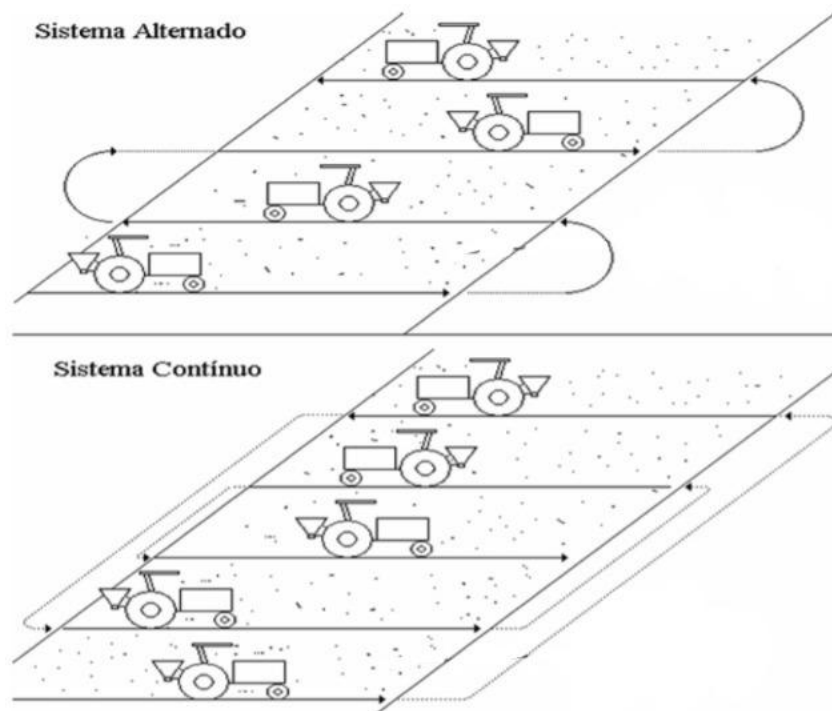
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com os resultados em mãos, dados de número, tamanho e distância entre bandejas, assim como a informação do peso coletado em cada bandeja, foram adicionados ao software Adulção 3.0 (Molin, 2009), para o processamento e criação dos gráficos, para que, em seguida, fosse realizado a interpretação dos resultados. É importante salientar que para as interpretações dos resultados respeitou-se o limite de 20% do coeficiente de variação, que se caso ultrapassasse esse valor poderia implicar na irregularidade de distribuição.

#### 2.2.4 Percurso de distribuição na geração dos gráficos

A distribuição de insumos pode ser realizada utilizando dois tipos de percursos distintos, de forma alternado, podendo ser alternado para direita ou para esquerda, onde a distribuição é realizada de forma “vai e vem”, realizando manobras nas cabeceiras do talhão no sentido que está trabalhando. Já no tipo de percurso de forma contínua, o operador realiza a distribuição do insumo abrindo ou fechando uma área dentro do talhão a ser distribuída, conforme ilustrado na (Figura 14).

**Figura 13-** Ilustração do percurso alternado e contínuo de distribuição de insumos



Fonte: Adulção 3.0 (2009).

### 2.2.5 Análise estatística

Com os resultados das larguras de cada repetição determinados, todos os dados encontrados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de nível de significância, utilizando o software Sisvar.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se os resultados referentes ao sentido de trabalho alternado para a esquerda, na distribuição de ureia. Para as variáveis altura de voo e dose de distribuição não houve diferença estatística significativa, portanto, não teve influência na largura efetiva de trabalho. Embora não tenha se diferido significativamente das demais, a dose de 45 kg.ha<sup>-1</sup> apresentou uma largura efetiva de trabalho superior as outras doses avaliadas. Considerando a variável altura de voo, a mesma também não diferiu significativamente das demais alturas avaliadas, no entanto, a altura de voo de 5 metros apresentou resultados superiores em relação as outras alturas utilizadas no experimento.

Tabela 1 – Largura efetiva de trabalho, no sentido de trabalho alternado para esquerda, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.

Dose	Altura			Média
	5 metros	7 metros	9 metros	
15 kg.ha <sup>-1</sup>	8,50 a	7,66 a	9,16 a	8,44
30 kg.ha <sup>-1</sup>	8,50 a	8,33 a	6,83 a	7,88
45 kg.ha <sup>-1</sup>	8,83 a	8,33 a	8,66 a	8,60
Média	8,61	8,10	8,21	

C.V. (%) 16,0

\*Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em um experimento realizado por Molin *et al.* (2009), no qual foi avaliado a distribuição dos grãos e a constância na formulação aplicada ao longo da largura de trabalho, de uma

máquina distribuidora a lanço terrestre, utilizando o C.V. de 15% na regularidade de distribuição, onde o insumo utilizado era a ureia, no sentido de trabalho alternado para esquerda, obtiveram como resultado uma largura efetiva de trabalho de 7,8 metros. Os resultados encontrados por Molin *et al.* (2009), se assemelham aos resultados desse experimento em discussão, porém neste estudo não houve diferença estatística significativa entre as larguras efetivas analisadas.

Takara; Quequeto (2014), realizaram um estudo avaliando a uniformidade de distribuição de um distribuidor centrífugo a taxa variada, onde utilizaram o sentido de trabalho alternado para esquerda, com três doses diferente e um C.V. de 20% para determinar as larguras efetivas, onde concluíram que, com o aumento da dose de distribuição não houve um aumento com diferença estatística significativa na largura efetiva de trabalho, ou seja, a dose não influenciou na largura de trabalho. O que se confirma com os resultados encontrados no trabalho em pauta, onde a largura efetiva de trabalho não foi influenciada pela dose de distribuição.

O experimento realizado por Molin *et al.* (2001), o qual teve como objetivo avaliar o desempenho de uma distribuidora de insumos sólidos a lanço, utilizando doses variáveis de ureia, trabalhando no sentido alternado para esquerda, respeitando o limite do C.V. de 15%, na dose de  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  obtiveram como resposta uma largura efetiva de trabalho de 25,7 metros, utilizando uma taxa de distribuição de  $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e tiveram uma largura de 25,2 metros. As mesmas não tiveram uma diferença estatística significativa, atestando os resultados obtidos no experimento em discussão, onde a dose não afetou na largura efetiva de trabalho.

Machado; Reynaldo; Vale (2022), avaliaram o perfil de distribuição transversal utilizando distribuidores a lanço montados em pulverizador autopropelido com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes, no qual foi utilizado o fertilizante 27-00-00 da marca (YaraBela) em cinco diferentes alturas de distribuição, variando de 1,15 a 2,22 metros, com um limite do C.V. de 20% para definir as larguras efetivas de trabalho. Os resultados encontrados não tiveram diferença estatística significativa na largura efetiva de trabalho, concluindo que, o aumento da altura de distribuição não teve influência na largura efetiva de trabalho. Este resultado é semelhante ao do presente trabalho, onde não obteve-se uma diferença estatística na largura efetiva de trabalho com o aumento da altura de voo.

Na Tabela 2, são exibidos os dados obtidos na distribuição de ureia com sentido de trabalho alternado para direita, utilizando três diferentes doses de distribuição e três alturas de voo. Verifica-se que para as variáveis altura de voo e dose de distribuição não houve influência na largura efetiva de trabalho. Mesmo que não tenha se diferido significativamente os resultados obtidos, visando ter maior rendimento operacional, a variável altura de voo de 7 metros, obteve maior largura efetiva de trabalho das demais alturas avaliadas. Considerando a variável dose de distribuição, embora não tenha apresentado uma diferença estatística significativamente, a dose de 30 kg.ha<sup>-1</sup> se demonstrou superior das demais doses avaliadas resultando em uma maior largura efetiva de trabalho.

Tabela 2 – Largura efetiva de trabalho, no sentido de trabalho alternado para direita, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.

Dose	Altura			Média
	5 metros	7 metros	9 metros	
15 kg.ha <sup>-1</sup>	5,16 a	5,16 a	5,33 a	5,21
30 kg.ha <sup>-1</sup>	5,66 a	5,33 a	6,00 a	5,66
45 kg.ha <sup>-1</sup>	5,33 a	6,50 a	4,00 a	5,27
Média	5,38	5,66	5,11	

C.V. (%) 42,74

\*Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em um estudo realizado por Machado; Reynaldo; Vale (2022), onde avaliaram o perfil de distribuição transversal, utilizando distribuidores a lança montados em pulverizador autopropelido, com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes, no qual foi utilizado o fertilizante 27-00-00 da marca (YaraBela), em cinco diferentes alturas de distribuição, variando de 1,15 a 2,22 metros, com um limite do C.V. de 20% para definir as larguras efetivas de trabalho, diante dos resultados demonstrados no experimento, as larguras efetivas de trabalho não tiveram uma diferença estatística significativa, concluindo que, a altura de distribuição não interferiu na largura efetiva de trabalho. O que se assemelha com os resultados obtidos por esse

experimento, no qual a largura efetiva de trabalho não teve uma diferença estatística significativa, não sendo afetada pela altura de distribuição.

Molin *et al.* (2001), realizaram um experimento, o qual teve como objetivo avaliar o desempenho de uma distribuidora de insumos sólidos a lanço, utilizando doses variáveis de ureia, empregando o sentido de trabalho alternado para direita e respeitado o limite do C.V. de 15%. Foi avaliado com a taxa de distribuição de 150 kg.ha<sup>-1</sup> e 250 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia, no qual resultou em uma largura efetiva de trabalho de 25,8 e 25,3 respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Esses resultados se assemelham aos dados encontrados no experimento em estudo, no qual o aumento da dose de distribuição não teve influência na largura efetiva de trabalho.

Diante de um estudo realizado por Takara; Quequeto (2014), no qual foi avaliado a uniformidade de distribuição de um distribuidor centrífugo a taxa variada de calcário, foi definido o sentido de trabalho alternado para direita e com um limite de C.V. de 20%, para definir a largura efetiva de trabalho, com isso foram atestadas três diferentes doses sendo: 1500 kg.ha<sup>-1</sup>, 2000 kg.ha<sup>-1</sup> e 2500 kg.ha<sup>-1</sup> de calcário. Os resultados alcançados, não apresentaram uma diferença estatística significativa entre si, onde o autor demonstra que, mesmo com o aumento da dose de distribuição a largura efetiva de trabalho não foi afetada. O que coincide com os resultados encontrados neste experimento em pauta que também não obteve uma diferença significativa na largura efetiva de trabalho com o aumento da dose de distribuição.

A Tabela 3 dispõe os dados obtidos da largura efetiva de trabalho na distribuição de ureia no sentido de trabalho contínuo, utilizando três diferentes doses de distribuição e três alturas de voo. Pode-se observar que, com a análise estatística, as larguras médias obtidas com as variáveis altura de voo e dose de distribuição obtiveram a mesma letra, não apresentando uma diferença estatística significativa, portanto, as variáveis altura de voo e dose de distribuição não interferiram nas larguras efetivas de trabalho. Embora os resultados não tenham apresentado uma diferença estatística, visando obter maior rendimento operacional, para a variável altura de voo, a altura de 5 metros apresentou maior largura efetiva de trabalho. Considerando a variável dose de distribuição, mesmo não diferindo estatisticamente, a dose de 45 kg.ha<sup>-1</sup> teve uma maior largura efetiva de trabalho em comparação às demais avaliadas neste experimento.

Tabela 3 – Largura de trabalho, no sentido de trabalho contínuo, para distribuição de ureia, utilizando um drone, em três doses e três alturas diferentes, considerando coeficiente de variação de 20%. Ibirubá/RS - 2024.

Dose	Altura			Média
	5 metros	7 metros	9 metros	
15 kg.ha <sup>-1</sup>	5,66 a	4,83 a	7,50 a	5,99
30 kg.ha <sup>-1</sup>	7,83 a	5,83 a	4,50 a	6,05
45 kg.ha <sup>-1</sup>	6,33 a	7,16 a	6,16 a	6,55
Média	6,60	5,94	6,05	

C.V. (%) 25,68

\*Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em um estudo proposto por Molin *et al.* (2001), o qual teve como objetivo avaliar o desempenho de um distribuidor centrífugo de insumos sólidos na distribuição de ureia em doses variáveis, com um limite de C.V. de 15% para estabelecer as larguras efetivas de trabalho no sentido de trabalho contínuo, no qual foi avaliado a dose de 150 kg.ha<sup>-1</sup> e tiveram como resposta uma largura efetiva de trabalho de 25,7 metros, e utilizando 250 kg.ha<sup>-1</sup> obtiveram como resultado uma largura efetiva de trabalho de 25,2 metros. As médias obtidas, não tiveram uma diferença estatística significativa entre elas, no qual o autor concluiu que, nas condições daquele experimento realizado, o aumento da dose não teve influência na largura efetiva de trabalho. Resultado que se assemelha com o experimento em pauta, no qual também não apresentou diferença estatística nas larguras efetivas de trabalho com o aumento da dose de distribuição.

Takara; Quequeto (2014), avaliaram a uniformidade de distribuição de um distribuidor centrífugo a taxa variada de calcário, onde foi estabelecido um limite de C.V. de 20% e sentido de trabalho contínuo, para definição das larguras efetivas de trabalho, considerando três diferentes doses de calcário sendo: 1500 kg.ha<sup>-1</sup>, 2000 kg.ha<sup>-1</sup> e 2500 kg.ha<sup>-1</sup>. As médias obtidas pelo experimento foram seguidas da mesma letra, ou seja, não apresentaram uma diferença estatística entre elas, o que concluiu que o aumento da dose de distribuição não alterou a largura efetiva de trabalho. O que se assemelha ao resultado encontrado no presente experimento, que

com o aumento da dose de distribuição não houve uma diferença estatística significativa na largura efetiva de trabalho.

Segundo estudos realizados por Machado; Reynaldo; Vale (2022), o qual teve como objetivo avaliar o perfil de distribuição transversal, utilizando distribuidores a lança montados em pulverizador autopropelido, com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes, usando o fertilizante 27-00-00 da marca (YaraBela), em cinco diferentes alturas de distribuição, variando de 1,15 a 2,22 metros, seguindo o sentido de trabalho contínuo com um limite do C.V. de 20% para definir as larguras efetivas de trabalho. As larguras efetivas médias obtidas pelo experimento não apresentaram uma diferença estatística significativa. O autor propõe que, o aumento da altura de distribuição, não interfere na largura efetiva de trabalho. Resultado semelhante ao do experimento em discussão que não obteve uma diferença estatística na largura efetiva de trabalho com o aumento da altura de distribuição do fertilizante.

Embora não tenha apresentado diferença estatística significativa nos resultados encontrados, recomenda-se realizar distribuições no sentido de trabalho alternado para a esquerda, o qual apresentou maiores larguras efetivas de trabalho, e a uma altura de 5 metros, a qual apresentou menores variações nas larguras efetivas de trabalho entre os tratamentos utilizados. Isso porque menores alturas de voo tendem a sofrer menos interferência da ação do vento, favorecendo uma distribuição mais uniforme e precisa dos grânulos no solo, contribuindo para a eficiência da aplicação. Além disso, quanto mais próximo o mecanismo dosador estiver do alvo, menor será a interferência de eventos externos, resultando em um coeficiente de variação reduzido e uma distribuição mais precisa dos materiais aplicados. A dose recomendada deve ser definida conforme o tipo de material utilizado, seja sementes ou fertilizantes, considerando a necessidade da cultura e o potencial de investimento do produtor.

### 3 CONCLUSÃO

Nas condições desse experimento as alterações de altura de voo e dose de distribuição, dentro dos limites testados, não apresentaram diferença estatística, portanto, não influenciaram na largura efetiva de trabalho.

A qualidade de distribuição longitudinal foi constante e regular, não demonstrando alterações ao longo do deslocamento, onde não apresentou diferença estatística.

Apesar de não apresentar diferença estatística nos resultados, recomenda-se distribuições no sentido de trabalho alternado para a esquerda na altura de 5 metros, pois apresentou maiores larguras de trabalho e menor interferências externas na distribuição.

## REFERÊNCIAS

- BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em culturas anuais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13441>>. Acesso em: 16 abril. 2025.
- CALIXTO, F. História dos drones: como surgiram? Para que servem? **Itarc**, 2018. Disponível em: <<https://itarc.org/história-dos-drones/>>. Acesso em: 24 de abr. de 2024.
- CAMPOAR Drones Agrícolas: Uma Nova Era na Agricultura moderna com a Semeadura de Arroz por Drones. **Campoar**, 2023. Disponível em: <<https://campoardrones.com/index.php/2023/10/09/campoar-drones-agricolas-uma-nova-era-na-agricultura-moderna-com-a-semeadura-de-arroz-por-drones/>>. Acesso em: 30 fev. 2025.
- CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com drone**. 2014, 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica), Universidade de Brasília (UNB). Brasília, DF, 2014.
- CAVALCANTE, W. S. S; et al. Tecnologias e inovações no uso de drones na agricultura / Technologies and innovations in the use of... **ResearchGate**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358366784\\_Tecnologias\\_e\\_inovacoes\\_no\\_uso\\_de](https://www.researchgate.net/publication/358366784_Tecnologias_e_inovacoes_no_uso_de). Acesso em: 17 mai. 2025.
- EMBRAPA. **Manual de tecnologia de aplicação**. São Paulo: ESALQ/USP, 2010. Disponível em: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2025.
- FULTON, J; PORT, K. Physical properties of granular fertilizers and impact on spreading. **Ohio State University, FABE-550.1**, 2016.
- GARCIA, R. V. **Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada para Distribuição de Cápsulas de Inimigos Naturais**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2020.
- GONÇALVES, V.; CAVICHIOLI, F. Estudo das funcionalidades dos drones na agricultura. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 321–331, 2021.
- HOFSTEE J. W.; GRIFT T.E.; J. T. WALKER. Aerodynamic properties of individual fertilizer particles. **Power and Machinery Div. ASAE**, v. 40, p. 13-20. 1997.
- HOFSTEE J. W.; HUISMAN. W. **Handling and spreading of fertilizers Part 1: Physical properties of fertilizers in relation to particle motion**. J. Agric. Eng. Res., v. 47, p. 213-234. 1990.
- JAMES, R. The Origins of Drone Warfare (Kettering Bug). **History Matters**. History Today, London, v. 68, n. 4, p. 8, abr. 2018.

LUCHETTI, A. **Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro**. Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/8074>> Acesso em: 10 de fev. 2025.

MACHADO, T. M; REYNALDO, Étore F.; VALE, W. G. Distribuidores a lança montados em pulverização autopropelido com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes / Distribuidores de fertilizantes um flip montado em spray autopropelido com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 5, pág. 39462–39475,. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/48358>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MEDEIROS, L. S; SILVA, M. R. **Adequação de imagens com filtro infravermelho utilizando drones na agricultura**, 6 dez. 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3224/1/ADEQUA%C3%87%C3%83O%20DE%20IMAGENS%20COM%20FILTRO%20INFRAVERMELHO%20UTILIZANDO%20DRONES%20NA%20AGRICULTURA.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MOLIN, J. P. Adulção 3.0: montagem do teste de campo. **Manual de uso passo-a-passo- Análise de resultados**. Piracicaba, USP/ESALQ. 20p, 2009.

MOLIN, J. P; DO AMARAL, L.R; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de textos, 2015.

MOLIN, J. P *et al.* Avaliação do desempenho de distribuidora de produtos sólidos a lança em doses variáveis de ureia. 2001, **Anais**. Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. Acesso em: 2 jun. 2025.

MOLIN, J. P *et al.* Segregação de fertilizantes aplicados a lança. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.4, págs. 614-622, 2009.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, **Secretaria da Agricultura**, 42p. 1961.

ORTIZ-CAÑAVATE, J; HERNÁNDEZ, J.L. **Técnica de la Mecanización Agraria**. 1989.

PORTELLA, J. A.; BATISTA, D. G. Teste eletrônico. **Cultivar Máquinas**, Não Me Toque. n. 118, p.12-14. 2012.

SCUSSEL, A. **Drones na Agricultura: prepare-se para atuar neste setor milionário**. 2016. Fórum Drones, São Paulo: MundoGeo. Disponível em:<https://mundogeo.com/2016/04/15/drones-na-agricultura-prepare-se-para-atuar-neste-setor-milionario/>. Acesso em: 9 de mai. 2025.

SENAR. **Mecanização: aplicação de corretivos e fertilizantes com distribuidor centrífugo**. 2017 Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/182-DISTRIBUIDOR-NOVO.pdf>>. Acesso em: 2 de jun. 2025.

SENAR. **Mecanização: aplicação de corretivos e fertilizantes com distribuidor centrífugo autopropelido**. 2020 Disponível em: <  
[https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/231\\_MECANIZACAO-APLICACAO-DE-CORRETIVOS-E-FERTILIZANTES-COM-DISTRIBUIDOR-CENTRIFUGO-AUTOPROPELIDO.pdf](https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/231_MECANIZACAO-APLICACAO-DE-CORRETIVOS-E-FERTILIZANTES-COM-DISTRIBUIDOR-CENTRIFUGO-AUTOPROPELIDO.pdf)>. Acesso em: 25 de fev. 2025.

SINDAG. **Uso de drones na agricultura brasileira**. 2018. Disponível em:  
<http://sindag.org.br/uso-de-drones-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 17 de jun. 2023.

SOUSA, A.; SOUSA, J. J.; COSTA, J. **Deteção de objetos a partir de imagens obtidas por VANT**. I Seminário Internacional UAV, Lisboa, mar. 2016.

SREEKANTHA, D. D. K.; RAO, K. P. N. Applications of unmanned ariel vehicles (UAV) in agriculture: a study. **Int. J. Res. Appl. Sci. Eng**, v. 6, p. 1162-1166, 2018.

SUI, R. Performance assessment of a variable-rate fertilizer applicator. **J. Agric. Sci**, v. 11, n. 2, p. 25-30, 2019.

TAKARA, J. G; QUEQUETO, W. D. **Uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo a taxa variada**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

TERRAMAGNA. **Drones para a aplicação de fertilizantes**. Disponível em:  
<https://terramagna.com.br/blog/drones-para-a-aplicacao-de-fertilizantes/>. Acesso em: 3 jun. 2025.

VALDEZ, E. Determinação e estudo dos perfis de distribuição de superfosfato, hiperfosfato e uréia granulados, aplicados com a fertilizadora centrífuga. 2A-E-400. **Agrinter**, Montevideo, v. 14, n. 4, p. 1-42, 1978.

WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. 1986. 79f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria.

ZHANG, Y. *et al.* Applications of unmanned aerial vehicles in the agricultural protection industry: a review. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1121-1141, 2019.