



## DEPOSIÇÃO DE GOTAS EM APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO: COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO COM DRONES E TRATORIZADA

*Natan Garbin de Camargo<sup>1</sup>, Thaisa Cavalieri Matera<sup>2</sup>, Arney Eduardo do Amaral Ecker<sup>3</sup>,  
Vanderly Janeiro<sup>4</sup>, Adriely Lazarim da Silva<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá-PR, UNINGÁ – Centro Universitário Ingá - natangarbin.contato@gmail.com

<sup>2</sup>Docente, Doutora, Departamento de Agronomia, Campus Maringá-PR, UNINGÁ – Centro Universitário Ingá -  
prof.thaisamatera@uninga.edu.br

<sup>3</sup>Coordenador, Docente, Doutor, Departamento de Agronomia, Campus Maringá-PR, UNINGÁ – Centro Universitário Ingá -  
agronomia@uninga.edu.br

<sup>4</sup>Coorientador, Docente, Doutor, Departamento de Estatística, Campus Maringá-PR, Universidade Estadual de Maringá - UEM -  
vjaneiro@uem.br

<sup>5</sup>Orientadora, Docente, Mestre, Departamento de Agronomia, Campus Maringá-PR, UNINGÁ – Centro Universitário Ingá -  
prof.adrielylazarim@uninga.edu.br

### RESUMO

Com a chegada da agricultura 4.0 e novas tecnologias, a tecnificação no campo é uma realidade, entre essas tecnologias podemos citar o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT'S) que tem sido utilizado nas pulverizações agrícolas. Sem dúvidas existem muitos benefícios no uso de drones para pulverizações, porém alguns aspectos técnicos são incógnitos a profissionais e produtores, um deles é sobre a eficiência do uso de VANT'S quando comparados com pulverizadores terrestres. Tendo em vista esses pontos supracitados, este trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre o número de gotas depositadas sobre a cultura do milho em uma aplicação tratorizada e uma aplicação com drone.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drone; Milho; Pulverização; Tratorizada;

### 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) que está inserido cenário agroindustrial brasileiro e mundial é uma figura de grande importância socioeconômica, na safra de 2023 o Brasil produziu 131,95 milhões de toneladas de milho em grão (IBGE, 2023). Destaca-se também a participação do Brasil na produção mundial do grão sendo o terceiro maior produtor, ficando atrás dos Estados Unidos da América (EUA) (348,75 milhões de toneladas) e China (277,20 milhões de toneladas) o Brasil registra 11,7% de participação na produção mundial de 1,15 bilhões de toneladas em 2023 (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostra que o milho primeira safra tem sua produção média nacional em 5.362 kg/ha, enquanto o milho segunda safra ou “safrinha” tem média de 6.105 kg/ha (IBGE, 2024). Analisando esses dados e comparando ao verdadeiro potencial produtivo do milho em grão percebemos que a média nacional é baixa, para analisarmos isso basta olhar o produtor David Hula de Charles City do estado da Virgínia (EUA), recordista mundial na produção de milho com 651 sacas por hectare ou 39.060 kg/ha (Globo Rural, 2023).

A análise acima mostra a oportunidade para os profissionais do agronegócio, para que se mobilizem na busca pela sustentabilidade e produtividade no meio agrícola para que de forma eficiente possamos produzir alimentos para o mundo que tem uma demanda crescente. Nesse contexto a agricultura 4.0 e suas tecnologias têm papel de destaque na gestão da propriedade agrícola, trazendo maior eficiência nas operações de campo e na gestão das informações da propriedade (Assis et al., 2024).



O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) traz benefícios aos produtores melhorando a eficiência na aplicação de insumos, reduzindo custos e aumentando as produtividades, utilizados na pulverização agrícola sua grande eficiência tem se destacado. A possibilidade de integração com a agricultura de precisão para aplicações localizadas somente em pontos de interesse gera economia aos produtores, essa redução de custos combinada ao aumento da segurança dos trabalhadores agrega valor a modalidade (Júnior e Nuñez, 2023).

Apesar de uma ampla gama de benefícios da pulverização com drones ainda existem incógnitas sobre os parâmetros de aplicação e a comparação com outros meios de pulverização, para sabermos os impactos dos diferentes meios de aplicação na agricultura é necessário protocolos em campo e coleta dos dados de interesse. A cobertura homogênea, deposição e o espectro de gotas têm destaque nas aplicações eficientes de produtos fitossanitários. (Pereira et al., 2024)

Considerando as oportunidades da agricultura 4.0 o uso de drones aplicado a agricultura e a crescente demanda pelo aumento das produções agrícolas, este trabalho tem como objetivo comparar e avaliar a deposição de gotas nas aplicações por um meio de aplicação terrestre tratorizado e a aplicação feita por drone na cultura do milho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em um campo de cultivo comercial de milho safrinha semeado segundo o zoneamento agrícola dia 20/02/2024 no Noroeste do Estado do Paraná município de Floraí-PR, a propriedade está situada sob as coordenadas geográficas 23°17'55.18"S 52°17'44.09"O. Realizado o experimento no estágio fenológico V8, na variedade DKB360, plantio com espaçamento de 45 cm.



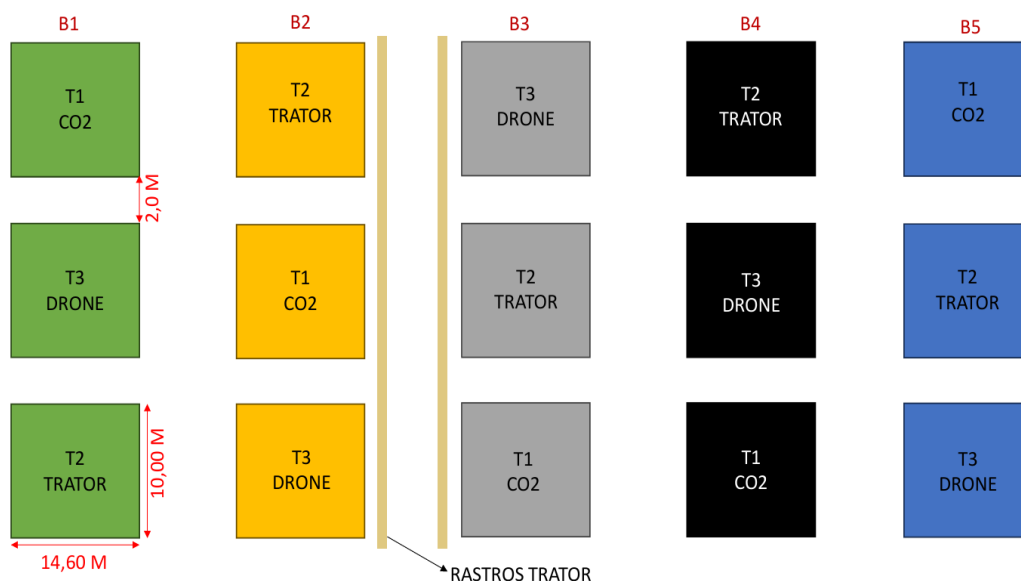
**Figura 1** - Croqui da área do experimento.  
Fonte: Google Earth, 2025



As parcelas delimitadas com 14,60 x 10,00 metros com espaço de 2,00 metros entre

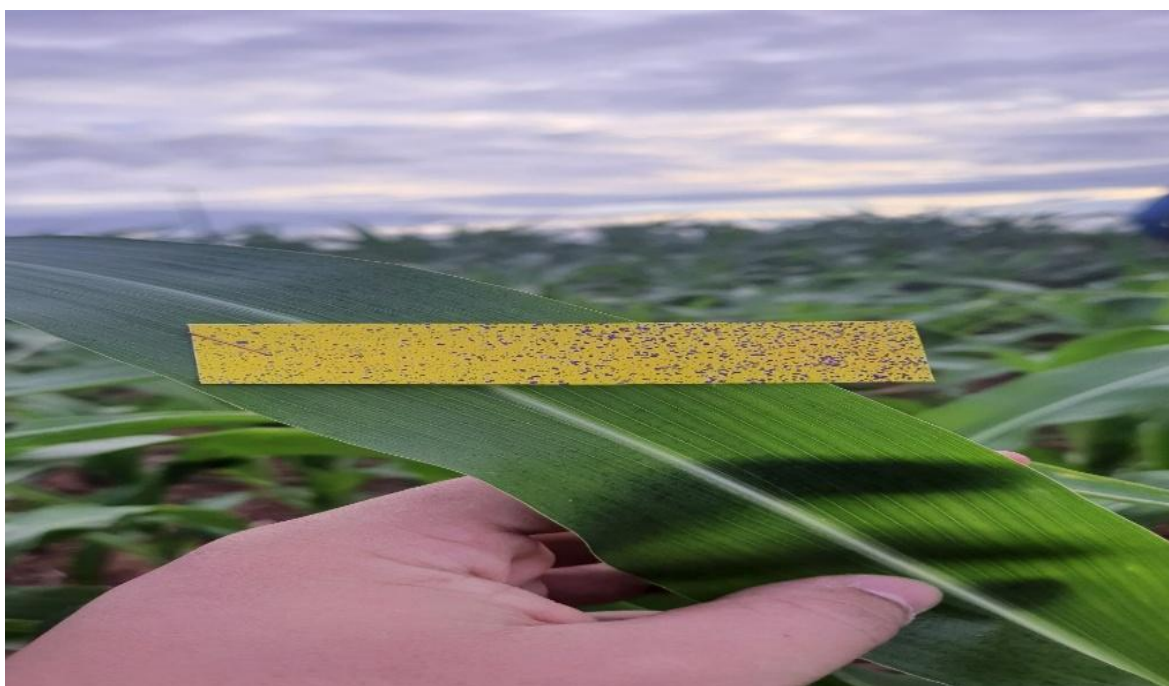
Equipamento	Capacidade do tanque	Especificações	Tipo de bico/atomizador	Vazão	Velocidade/Altura
Pulverizador Colômbia Cross AD18	2000 Litros	- 36 pontas - Barra 18 metros - Espaçamento de 50 cm entre as pontas	Cônico	165 L/ha	6,5 km/h - 40 cm da cultura
Drone XAG P100	40 Litros	- Distância entre pontas 1 metros	Discos centrífugos	165 L/ha	16,2 km/h – 3,7 m da cultura
Cilindro CO2 Allka bandeirinhas	2 Litros	- 4 pontas - Barra 2 metros - Espaçamento de 50 cm entre pontas	Cônico	165 L/ha	3,6 km/h – 40 cm da cultura

parcelas, de forma que entre os blocos passaram os rastros do trator facilitando a operação, o delineamento experimental foi em arranjo fatorial de 3x3 completamente aleatorizado com 5 repetições em blocos, sendo os tratamentos: testemunha (controle técnico) utilizando aparelho costal com CO2 pressurizado, modelo já utilizado em trabalhos anteriores (Soares et al., 2023, Embrapa), tratamento com a aplicação tratorizada e pôr fim a aplicação com VANT. Cada tratamento foi repetido 5 vezes com papéis hidrossensíveis WSPAPER para deposição da calda, posicionados em 3 alturas das plantas fixado com auxílio de grampos (terço inferior, médio e superior), as plantas foram escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela com 3 plantas por parcela.



**Figura 2 - Croqui do experimento**  
 Fonte: O autor, 2024

**Quadro 1 - Características dos equipamentos.**  
 Fonte: O autor, 2025



**Figura 3** - Papel hidrossensível fixado na folha.  
Fonte: O autor, 2024.



**Figura 4** – Fotos dos equipamentos utilizados no experimento.  
Fonte: O autor, 2024

As condições climáticas foram aferidas com auxílio de termo-higro-anemômetro digital (Metrins INS-1350) no momento antes de iniciar os trabalhos de aplicação as 16:42 horas, presença de nuvens no local com temperatura de 29.1° C, umidade relativa do ar 55% e vento de 4,7 milhas por hora (7,5 km/h). A calda para aplicação somente com água, com objetivo de avaliar a deposição de gotas, as pontas de pulverização utilizadas no pulverizador da marca Magnojet de cor amarela e 90° no modelo cônico, o drone modelo



XAG com discos centrifugos para atomização das gotas, por fim cilindro de CO<sub>2</sub> com garrafa pet de 2 litros e barra de 2 metros com pontas Magnojet verdes também 90° no modelo cônico.

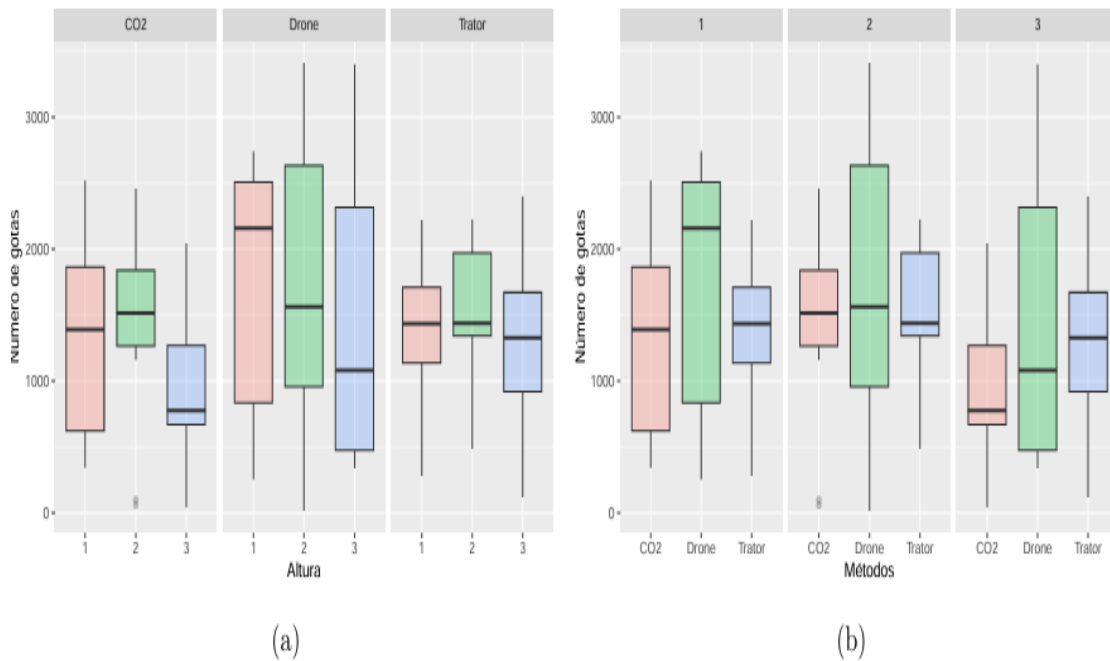


**Figura 5** - Termo-higro-anemômetro digital no experimento e porte da cultura.  
Fonte: O autor, 2024

Após as aplicações os papéis hidrossensíveis foram coletados e em seguida escaneados individualmente para passar por análise da deposição de gotas com auxílio do software GOTAS (Embrapa, 2006). Os resultados passaram por testes estatísticos, para ajuste do modelo foi usado a função `gls()` do pacote `nlme` (Pinheiro, Bates e R Core Team (2023)); e comparações múltiplas pelo teste de Tukey do pacote `emmeans` (Lenth (2024)) no ambiente estatístico R (R Core Team (2024)).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

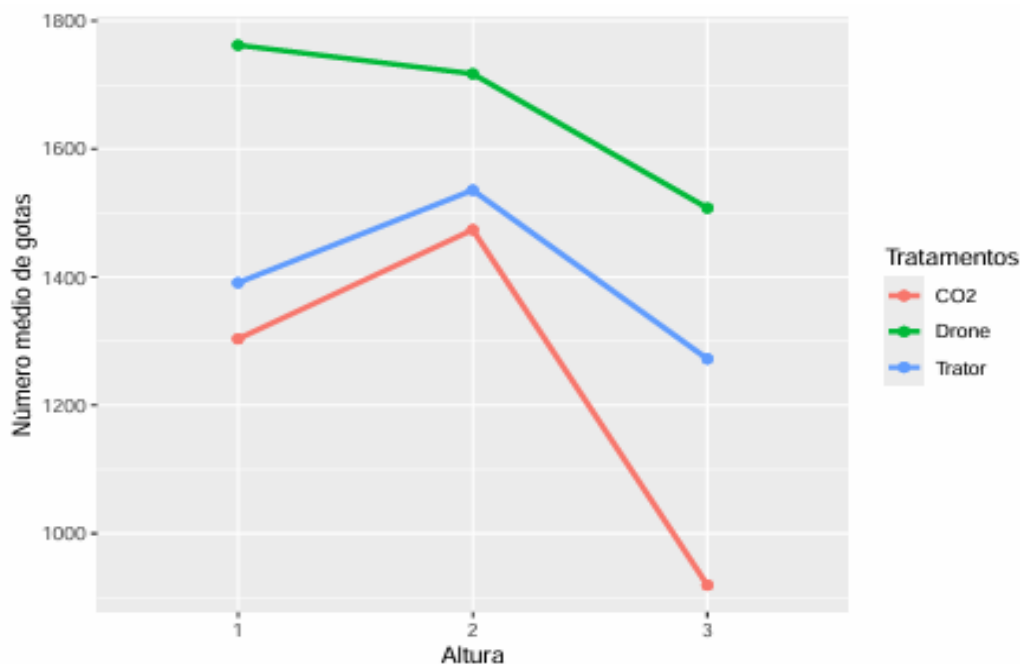
Podemos observar, na Figura 6a), que a distribuição do número de gotas varia conforme a altura para o método CO<sub>2</sub>, o mesmo não ocorrendo para os outros métodos. Na Figura 6b), observa-se que a variação do número de gotas é maior dentro do método de aplicação com drone.



**Figura 6** - Distribuição do número de gotas por altura dentro do método de aplicação (a) e do número de gotas por método de aplicação dentro de altura (b)

Fonte: O autor, 2025

A Figura 7 mostra que o número médio de gotas varia conforme o método de aplicação e a altura. O método drone se destaca dos outros, apresentando o maior número de gotas na altura 1, com uma redução gradual nas alturas subsequentes, sugerindo que é mais eficiente em alturas mais altas. Já o método trator e CO2 estão próximos nas alturas 1 e 2, na altura 3 o método trator apresentou leve redução enquanto o método CO2 a redução foi mais acentuada.



**Figura 7** - Médias do número de gotas por método de aplicação e altura

Fonte: O autor, 2025



### 3.1 AJUSTE DO MODELO

De acordo com os resultados do ajuste do modelo (ref{mod1}), apresentados na Tabela 4, os efeitos de método de aplicação e altura são significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 1 - Anova do ajuste do modelo (1)

	numDF	F.value	p.value
(Intercept)	1	552.4880	0.0000
bl.f	4	1.0850	0.3671
trat.f	2	2.6252	0.0765
altura.f	2	3.2293	0.0430
trat.f:altura.f	4	0.3382	0.8517

Fonte: O autor.

Como o termo de interação não é significativo (valor-p=0.8517), foi removido do modelo. O novo ajuste é apresentado na Tabela 2, nota-se que a remoção do termo de interação afetou pouco a probabilidade de significância de método de aplicação e altura na planta.

Tabela 2 - Anova ajuste do modelo (1)

	numDF	F.value	p.value
(Intercept)	1	562.448	0.0000
bl.f	4	1.087	0.3657
trat.f	2	2.697	0.0713
altura.f	2	3.275	0.0411

Fonte: O autor.

As estimativas dos componentes de variância dos resíduos, mostram que a variabilidade devido ao uso do drone supera em duas vezes a do uso do trator. Porém, parece não haver diferença entre trator e CO2.

Tabela 3 - Estimativa das componentes de variância do modelo ajustado (1)

	lower	est.	upper
Trator	394.1	533.8	723.0
Drone	796.8	1079.0	1461.2
CO2	530.8	656.8	812.7

Fonte: O autor.

Um novo modelo será ajustado para comparar o fator drone com os demais.

	Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p.value
Mod. velho	1	12	2056	2090	-1016		NA	NA
Mod. novo	2	11	2054	2095	-1021	1 vs 2	9.911	0.0016

Figura 8 – Tabela ajuste do modelo.



Fonte: O autor, 2025

Assim, o modelo que considera uma componente de variância residual para cada método de aplicação deve ser mantido. Sendo a aplicação com drone o de maior variabilidade residual.

### 3.2 ESTIMAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV%)

Dada a presença de heterocedasticidade residual evidenciada pelas estimativas dos componentes de variância residuais para cada método de aplicação, o modelo final ajustado foi do tipo  $gls()$  com estrutura de variância heterogênea ( $weights = varIdent(form = \sim 1 | trat.f)$ ). Nessa estrutura, cada nível do fator  $trat.f$  possui uma variância residual distinta, o que inviabiliza o uso de uma estimativa global do desvio padrão residual para cálculo do coeficiente de variação (CV). Assim, o CV(%) foi calculado individualmente para cada tratamento, com base na média ajustada de número de gotas e no desvio padrão residual estimado a partir do modelo. O desvio padrão residual para cada tratamento foi obtido multiplicando o valor base ( $\sigma = 656.8$ , associado ao tratamento referência, CO2) pelos fatores de escala ajustados:

- CO2: 1.0000
- Trator: 0.8128
- Drone: 1.6429

A Tabela 5 resume as médias, os desvios padrão residuais estimados e os respectivos coeficientes de variação percentuais (CV%) para cada método de aplicação:

$$CV = \text{Desvio padrão residual} / \text{Média} \times 100$$

Os resultados indicam que o método de aplicação com drone, embora apresente maior média de gotas, também possui a maior variabilidade relativa, com um CV de 64,9%. Por outro lado, o método trator mostrou-se o mais preciso (menor CV), enquanto o método CO2 apresenta variabilidade intermediária. De acordo com Pimentel (2009), em seu livro “Curso de Estatística Experimental” valores de (CV) acima de 30% são considerados muito altos, o que Schmidt et al. (2017) avaliando CVs em experimentos alface também aponta esses CVs como muito altos.

Tabela 5: Médias, desvios padrão residuais e coeficiente de variação (CV%) por tratamento, com base no modelo  $gls()$  com variância heterogênea.

Tratamento	Média de gotas	DP residual	CV (%)
CO2	1232	656.8	53.3
Trator	1398	533.8	38.2
Drone	1662	1079.1	64.9

Fonte: O autor.

Considerando os altos coeficientes de variação (CV) apontados pela tabela 5 em todos os métodos, e comparando com outros trabalhos sobre tecnologia de aplicação percebemos semelhanças na observação de altas variabilidades nos dados, os autores apontam como principal causa os fatores climáticos (vento, temperatura e umidade) e



morfológicas das plantas (arquitetura) em que as gotas de diferentes métodos têm dificuldade de penetrar na cultura atingindo os terços inferiores (Pereira et al., 2024). Assim, os resultados aqui obtidos, especialmente para o drone (CV de 64,9%), apesar de muito altos, são altamente influenciados por fatores externos como vento, arquitetura de plantas e grau de inclinação da folha que é combinado com os posicionamentos dos papéis hidrossensíveis influenciando a qualidade de cobertura (Oliveira et al., 2012).

Outros trabalhos específicos sobre o uso de drones na agricultura indicam como o ambiente impacta em altas variabilidades causando CVs muito altos, superiores a 90% tornando a deposição adequada de gotas um desafio (Júnior, 2023). Prado et al. (2015) em pulverizações tratorizadas obtiveram variações de CV em até 42%, também com aplicações em diferentes alturas de plantas na cultura da soja, trabalhos da EMBRAPA do ano 2000 já se falava sobre a ineficiência de aplicações com perdas de 70% na cultura do feijão (Chaim et al. 2000).

Estudos como o de Bianchi (2022) demonstram que, embora drones apresentem maior número de gotas depositadas, essa performance é acompanhada por alta dispersão dos dados, um indicativo semelhante ao observado neste trabalho. Portanto, os altos coeficientes de variação não invalidam os resultados, mas revelam as limitações operacionais inerentes a cada método, sendo relevantes na avaliação crítica da eficiência das tecnologias de aplicação.

### 3.3 COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

Na Tabela 6, observa-se que há sobreposição de intervalos 95% de confiança tanto para método de aplicação quanto para altura em que a contagem de gotas foi realizada.

Tabela 6 - Medias e intervalos 95% de confiança para o número médio de gotas

Fonte	emmean	SE	df	L	Lower.C	L	Upper.C
CO2	1232	97.91	42.34		1035		1430
Drone	1662	160.85	41.90		1338		1987
Trator	1398	80.54	39.71		1235		1561
Altura 1	1462	107.64	123.61		1249		1675
Altura 2	1594	106.28	123.44		1384		1804
Altura 3	1237	106.28	123.44		1026		1447

Fonte: O autor

Conforme os resultados apresentados na tabela 7, o uso de drone proporcionou um número médio de gotas superior aos demais, porém se diferencia estatisticamente apenas do método CO2. Este resultado é semelhante ao obtido por Bianchi (2022) onde a deposição de gotas pelo método drone também é superior ao método tratorizado.

Tabela 7 - Resultados do teste de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para comparação do número médio de gotas por método de pulverização.

	Fonte	Média	Grupos
2	Drone	1662	A
3	Trator	1398	AB
4	CO2	1232	B

Fonte: O autor

A altura 3, foi a que menos recebeu gotas do produto aplicado, no entanto não difere significativamente da altura 1, Tabela 8. Esse padrão de redução na deposição nas



camadas inferiores da planta também foi observado por Pereira et al. (2024), que relataram menor eficiência nas folhas inferiores devido ao sombreamento do dossel e à menor penetração da calda nas aplicações com drones.

Tabela 8 - Resultados do teste de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para comparação do número médio de gotas por altura na planta

	Fonte	Média	Grupos
2	2	1594	A
1	1	1462	AB
3	3	1237	B

Fonte: O autor.

## 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso de drones na agricultura no nicho da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, quando comparados a métodos convencionais já utilizados, mostra eficiência na deposição média de gotas em diferentes alturas, equiparando-se ao método tratorizado. Porém observou-se alta heterogeneidade em todos os dados, sobressaindo-se as aplicações com drone mostrando que o método é mais influenciado pelos intempéries.

## REFERÊNCIAS

ASSIS, K. C. C.; PIANTONI, J.; AZEVEDO, R. F. “**Tecnologias em agricultura inteligente: Eficiência e sustentabilidade.**” Research, Society and Development, v.13, n.4, e7013445072, 2024.

BALAN, M. G.; OLIVEIRA, G. M.; FONSECA, I. C. B.; ABI SAAB, O. J. G. **Sentidos de aplicação e pontas de pulverização no percentual de cobertura em alvos artificiais, para diferentes situações de orientação de alvo e vento.** *Ciência Rural*, v. 42, n. 4, p. 581–586, abr. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/hFVmkJ3hGQCZfyDcxDnWMvJ/>. Acesso em: 25 junho 2025.

BIANCHI, E. “**Deposição de gotas na cultura no trigo: comparação entre a aplicação com drones versus aplicação tratorizada**”. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Erechim, RS, 2022.

CHAIM, Aldemir; VALARINI, Pedro José; PIO, Luiz Cesar. **Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão.** Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 10, 2000.

GLOBO RURAL. “**Milho: agricultor colhe mais de 650 sc/ha e bate record nos EUA**” Disponível em: <https://globo rural.globo.com/agricultura/milho/noticia/2023/12/milho-agricultor-colhe-mais-de-650-scha-e-bate-recorde-nos-eua>. Acesso em: 17 de março 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. “**Levantamento sistemático da produção agrícola**” Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola>. Acesso em: 17 março 2025.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. “**Produção de milho em grão**” Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao> Acesso em: 17 março 2025.

JÚNIOR, J. C. A.; NUÑEZ, D. N. C. “**O uso de drones na agricultura 4.0**”. Brazilian Journal of Science, 3 (1), 1-13, 2024.

LENTH, R. V. **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA; SECRETARIA DE COMÉRCIO E RELAÇÕES INTERNACIONAIS “**Exportações Brasileiras Milho**”. Brasília, 2024.

PEREIRA, C; BERTOLLO, G. V.; et al. “**Eficiência da aplicação com uso de drone e pulverizador terrestre**”. Revista Caderno Pedagógico, Curitiba, v.21, n.3, p. 01-16, 2024.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 284 p.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; R CORE TEAM. **nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models**. [s.l: s.n.].

PRADO, E. P.; RAETANO, C. G.; COSTA, M. H. F. do A.; CHRISTOVAM, S. I. de A. **Effects of silicone surfactant and application rates on spray deposition and soybean rust control**. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 3, p. 514–527, 2015.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

SCHMILDT, E. R. et al. **Coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos de alface**. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 11, n. 4, p. 290-295, 2017. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4412.

SOARES, R. M.; ADEGAS, F. S.; ROGGIA, S.; FRANCHINI, J. C. **Controle da ferrugem-asiática da soja com fungicidas pulverizados com drone agrícola**. *Embrapa, Resumos*, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1156512/control-da-ferrugem-asiatica-da-soja-com-fungicidas-pulverizados-com-drone-agricola>. Acesso em: 25 jun. 2025.

TAFERNABERRI JÚNIOR, **Vilmar**. **Avaliação da pulverização com drone em diferentes alturas e velocidades de voo. 2023**. (Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Agronomia) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Cachoeira do Sul, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/3217>>. Acesso em: 25 junho 2025.