

INSTITUTO DE SERVIÇOS EDUCACIONAIS VALE DO PARANAPANEMA LTDA
FACULDADES INTEGRADAS DE TAGUAÍ
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**EFEITO DA PRESSÃO DE TRABALHO E DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO (3ª MARCHA SIMPLES E 3ª MARCHA REDUZIDA) NO
VOLUME DE CALDA APLICADO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA**

THIAGO MELO

TAGUAÍ- SP

2025

THIAGO MELO

**EFEITO DA PRESSÃO DE TRABALHO E DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO (3ª MARCHA SIMPLES E 3ª MARCHA REDUZIDA) NO
VOLUME DE CALDA APLICADO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Engenharia Agrônômica das Faculdades Integradas de Taguaí como requisito para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Lança Rodrigues

Professora Responsável pela disciplina: Prof.^a Dra. Viviane Maria Codognoto

TAGUAÍ- SP

2025

Nome do autor: Thiago Melo

Título: EFEITO DA PRESSÃO DE TRABALHO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO (3ª MARCHA SIMPLES E 3ª MARCHA REDUZIDA) NO VOLUME DE CALDA APLICADO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA.

Prof. Dr. José Guilherme Lança Rodrigues

Presidente e Orientador

Professor da Faculdades Integradas de Taguaí – FIT, Taguaí/SP

Prof.^a Dra. Viviane Maria Codognoto

Professora Responsável pela disciplina

Professora da Faculdades Integradas de Taguaí – FIT, Taguaí/SP

Prof. Esp. Leandro Simi Pereira de Souza

Membro titular

Professor da Faculdades Integradas de Taguaí – FIT, Taguaí/SP

Data da Defesa, 15 de dezembro de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus familiares, que sempre estiveram do meu lado, me apoiando durante todo esse ciclo, pela paciência em cada passo dado nessa jornada. A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Sou grato por cada gesto, palavra e ajuda oferecida. Todo esse apoio e incentivo foi essencial para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis, durante todo o período da Faculdade, e na elaboração deste projeto de pesquisa.

Agradeço aos meus familiares e entes queridos, por terem me ajudado a alcançar meus objetivos. Ao meu orientador o Prof. José Guilherme Lança Rodrigues, por me conduzir, acreditar em minha pesquisa, e me manter em foco para a conclusão deste trabalho. A todos os Professores que tive durante os anos de graduação, meu muito obrigado pelo incentivo, atenção e dedicação!

Enfim, agradeço especialmente a instituição FIT pela oportunidade, e por fim, aos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho!

EFEITO DA PRESSÃO DE TRABALHO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO (3ª MARCHA SIMPLES E 3ª MARCHA REDUZIDA) NO VOLUME DE CALDA APLICADO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

THIAGO MELO

RESUMO

A pulverização agrícola é uma operação essencial no manejo fitossanitário, e sua eficiência depende diretamente de fatores operacionais como pressão de trabalho dos bicos e velocidade de deslocamento do trator. Este estudo teve como objetivo avaliar, em condições reais de campo, o efeito combinado entre diferentes pressões de trabalho e duas marchas de operação (3ª simples e 3ª reduzida) sobre o volume de calda aplicado (L/ha). O experimento foi conduzido utilizando um trator “Massey Ferguson- 4410” e um pulverizador de barras “Incomagri- Attack”. A análise estatística foi realizada no software R por meio de um modelo de regressão linear com interação, seguido de uma Análise de Variância (ANOVA). Os resultados demonstraram que a pressão, a marcha e a interação entre os fatores influenciaram significativamente o volume aplicado. Verificou-se que maiores volumes foram obtidos na 3ª marcha reduzida, e que o aumento da pressão resultou em incremento linear na quantidade de calda aplicada. Os achados destacam a importância da calibração correta e da escolha adequada dos parâmetros operacionais, contribuindo para maior eficiência, menor desperdício e redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Pulverização Agrícola; Pressão de Trabalho; Marcha do Trator; Volume de Calda; Calibração.

EFFECT OF WORKING PRESSURE AND TRAVEL SPEED (3RD GEAR SIMPLE AND 3RD GEAR REDUCED) ON THE SPRAY VOLUME APPLIED IN AGRICULTURAL SPRAYING

THIAGO MELO

ABSTRACT

Agricultural spraying is an essential operation in crop protection management, and its efficiency directly depends on operational factors such as nozzle working pressure and tractor travel speed. This study aimed to evaluate, under real field conditions, the combined effect of different working pressures and two operating gears (3rd gear standard and 3rd gear reduced) on the applied spray volume (L/ha). The experiment was conducted using a “Massey Ferguson-4410” tractor and an “Incomagri-Attack” boom sprayer. Statistical analysis was performed in R software using a linear regression model with interaction, followed by an Analysis of Variance (ANOVA). The results showed that pressure, gear, and the interaction between the factors significantly influenced the applied volume. It was observed that higher volumes were obtained in 3rd gear reduced, and that increasing the pressure resulted in a linear increase in the amount of spray applied. The findings highlight the importance of proper calibration and the appropriate selection of operational parameters, contributing to greater efficiency, less waste, and reduced environmental impacts.

Keywords: Agricultural Spraying; Working Pressure; Tractor Speed; Spray Volume; Calibration.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4. CONCLUSÃO.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

1. INTRODUÇÃO

A pulverização agrícola constitui uma das ferramentas centrais no manejo fitossanitário, desempenhando papel essencial no controle eficiente de pragas, doenças e plantas daninhas. Contudo, a eficácia de uma aplicação não depende exclusivamente das propriedades químicas do defensivo utilizado; ela está diretamente associada à qualidade do processo de pulverização. Essa qualidade envolve a capacidade de promover cobertura adequada, uniformidade na distribuição das gotas, boa deposição no alvo e redução das perdas por deriva, fatores amplamente reconhecidos como determinantes do desempenho agrônomo das aplicações. (MATTHEWS, 2008; CUNHA et al., 2010).

A qualidade da pulverização é determinada por um conjunto de fatores que envolvem a formação, o transporte e a deposição das gotas sobre o alvo biológico. Entre os principais aspectos que definem uma aplicação eficiente destacam-se a cobertura adequada da superfície a ser tratada, a uniformidade da distribuição das gotas ao longo da faixa de aplicação, a deposição efetiva no alvo e a minimização das perdas por deriva e evaporação. Esses fatores são determinantes para um melhor desempenho agrônomo das aplicações, influenciando diretamente o sucesso do controle fitossanitário e o uso racional dos defensivos agrícolas (ANTUNIASSI; BOLLER, 2011; MATTHEWS, 2008).

Diversos estudos indicam que parâmetros operacionais e ambientais exercem influência significativa sobre a eficiência da pulverização. O tamanho das gotas produzidas, o tipo de bico pulverizador, o volume de aplicação, bem como as condições meteorológicas, especialmente velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, são fatores que afetam de maneira direta a deposição das gotas e o potencial de deriva (FELSOT et al., 2010; CHEN et al., 2020; WEICAI & PANYANG, 2023). Dessa forma, o ajuste inadequado desses fatores pode resultar em aplicações ineficientes, com redução do controle fitossanitário, aumento do consumo de insumos e elevação dos riscos ambientais.

Nesse contexto, a eficiência operacional da pulverização agrícola depende, principalmente, de duas variáveis fundamentais: a pressão de trabalho nos bicos pulverizadores e a velocidade de deslocamento do trator. A pressão de trabalho está diretamente relacionada à vazão dos bicos e à formação do espectro de gotas. Em geral, o aumento da pressão resulta na produção de gotas menores, o que pode favorecer maior cobertura do alvo. No entanto, gotas de menor diâmetro apresentam maior suscetibilidade à deriva, sobretudo quando associadas a condições ambientais desfavoráveis. Assim, a escolha da pressão adequada deve buscar o equilíbrio entre cobertura eficiente e redução das perdas por deriva.

Com relação a velocidade de deslocamento do conjunto trator–pulverizador, ela exerce um papel determinante na qualidade da aplicação de defensivos agrícolas. Velocidades elevadas podem reduzir o volume de calda aplicado por unidade de área, ocasionando subaplicação e comprometendo o controle fitossanitário. Por outro lado, velocidades muito baixas podem provocar sobreposição das faixas de pulverização, desperdício de defensivos e aumento dos custos operacionais. Além disso, variações na velocidade afetam a estabilidade da barra de pulverização, podendo alterar a altura de aplicação e a uniformidade da distribuição das gotas ao longo da faixa tratada (CPT, 2023).

Manuais técnicos e normativas de boas práticas de aplicação recomendam que a regulação dos pulverizadores considere, além dos parâmetros operacionais, as características da cultura, como altura e densidade foliar, o estágio de desenvolvimento das plantas, o tipo de bico utilizado e as condições climáticas no momento da aplicação (SISTEMA FAMATO/SENAR-MT, 2023). A ausência de calibração adequada pode resultar em aplicações ineficientes, aumento do uso de defensivos agrícolas e intensificação dos impactos ambientais, destacando-se a deriva como uma das principais formas de perda e contaminação de áreas não alvo, com potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente (FELSOT et al., 2010).

Embora exista uma base teórica consolidada para a pulverização agrícola, modelos que relacionam pressão, vazão e largura de barra não contemplam totalmente as condições reais de campo. Fatores como irregularidade do terreno, turbulência gerada pelo trator, variações de velocidade e instabilidade da barra influenciam significativamente a deposição, a uniformidade da aplicação e as perdas por deriva.

Doico (2011) demonstrou que oscilações em pulverizadores tipo torre estão associadas à velocidade de deslocamento e às irregularidades do solo, comprometendo a distribuição da calda. Além disso, a aerodinâmica do trator afeta a turbulência atrás da barra, alterando a trajetória das gotas. Simulações por Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) indicam que diferentes velocidades modificam a energia cinética turbulenta e o potencial de deriva.

Dias (2019), em túnel de vento, constatou que a deriva é fortemente influenciada pela velocidade do vento, especialmente sob baixas pressões, reforçando a necessidade de validar modelos teóricos sob condições realistas. Portanto, ensaios em campo são essenciais para validar e ajustar recomendações operacionais, considerando variabilidades do solo, da máquina e do ambiente, contribuindo para maior eficiência, redução de perdas e menor impacto ambiental.

Diante desse cenário, torna-se evidente a importância da realização de estudos experimentais em condições reais de campo, capazes de integrar os efeitos da pressão de

trabalho e da velocidade de deslocamento do trator sobre o volume de calda aplicado e a qualidade da pulverização. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da pulverização agrícola em condições reais de campo, analisando o efeito combinado da pressão de trabalho dos bicos e da marcha do trator sobre o volume de calda aplicado (L/ha), comparando duas velocidades operacionais: 3ª marcha simples e 3ª marcha reduzida. Os resultados obtidos buscam contribuir para o aprimoramento das recomendações técnicas, promovendo maior eficiência operacional, uso racional de defensivos agrícolas e redução dos impactos ambientais associados às aplicações fitossanitárias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda “Luiz Lourenço Lança”, Campus 2 das Faculdades Integradas de Taguaí (FIT). Utilizou-se um trator Massey Ferguson- 4410 acoplado a um pulverizador de barras INCOMAGRI ATTACK.

A análise estatística foi realizada no ambiente R (R CORE TEAM, 2024). Para avaliar o efeito da pressão do bico (BAR) e da marcha do trator sobre o volume de calda (L/ha), ajustou-se um modelo de regressão linear com interação, utilizando a função `lm()`:

$$Volume = \beta_0 + \beta_1(Pressão) + \beta_2(Marcha) + \beta_3(Pressão \times Marcha) + \varepsilon$$

A variável marcha foi tratada como categórica (dois níveis), enquanto a pressão foi incluída como variável contínua (quatro níveis). A significância dos termos do modelo foi avaliada por meio de Análise de Variância (ANOVA). Para visualização da interação, gerou-se um gráfico de efeitos preditos com a função `plot_model()`, do pacote `sjPlot` (LÜDECKE, 2024). Adotou-se nível de significância de $\alpha = 0,05$.

Abaixo contém um quadro com as variáveis (Estatísticas da pesquisa) do experimento realizado nesse Trabalho de Conclusão de Curso:

KM/HORA	TEMPO	CONSUMO L/HORA
3 KM	1 minuto e 01,25 segundos/ 50 metros	5,1
5 KM	41,5 segundos/ 50 metros	4,7
7 KM	28,6 segundos/ 50 metros	5,4
9 KM	19,75 segundos/ 50 metros	6,2

O quadro apresentado reúne informações referentes às condições operacionais do trator/pulverizador durante o experimento. Ele contém três variáveis principais, medidas em diferentes velocidades de deslocamento do trator. Foram feitas 4 repetições com velocidade aplicada em um trajeto de 50 metros e consumo de calda diferentes em cada uma das amostras. O tipo de delineamento experimental deste estudo é baseado em dois fatores principais:

- Pressão contínua (4 níveis) e Marcha categórica (2 níveis)

No quadro, o campo Km/h indica a marcha/velocidade de trabalho utilizada durante as aplicações simuladas. Foram testadas quatro velocidades: 3, 5, 7 e 9 km/h. Essa variável é importante porque a velocidade influencia diretamente no tempo de percurso na área; no volume de calda aplicado por hectare e consequentemente, no consumo de calda. Nele temos também o tempo que o trator leva para percorrer os 50 metros propostos em cada velocidade testada. Por exemplo: 5 km/h $\rightarrow$ 41,5 segundos. Essa variável é fundamental porque permite confirmar a velocidade real do trator (validando a marcha selecionada); calculando a taxa de aplicação de calda (L/ha); relacionando velocidade $\times$ tempo $\times$ volume aplicado, que é essencial para avaliar o desempenho operacional do pulverizador.

A velocidade (Marcha) é uma das variáveis avaliadas no modelo estatístico. O tempo e o consumo, ajudam a contextualizar os efeitos da marcha sobre o volume de calda. Os valores encontrados servem como embasamento para o cálculo do volume de calda aplicado por hectare (L/ha), e a interpretação dos efeitos da velocidade no desempenho do pulverizador, servindo como valioso subsídio nas discussões sobre eficiência, economia e qualidade da aplicação.

O quadro reúne informações operacionais medidas em campo, relacionadas à velocidade do trator, ao tempo de deslocamento, e quantidade de calda despejada no ambiente, e ajuda a compreender como a marcha influencia o desempenho do pulverizador, fornecendo os dados essenciais para cálculos e análises posteriores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que tanto a pressão de trabalho dos bicos, quanto a marcha do trator exercem influência significativa sobre o volume de calda aplicado durante a pulverização agrícola. A análise estatística evidenciou efeitos principais expressivos e uma interação significativa entre os fatores, indicando que o impacto da pressão sobre o volume aplicado depende diretamente da velocidade de deslocamento.

Observou-se que maiores volumes de calda foram obtidos na 3ª marcha reduzida, independentemente da pressão utilizada, evidenciando que velocidades menores aumentam o

tempo de exposição do sistema de pulverização sobre uma mesma área, resultando em maior deposição. Além disso, o aumento da pressão promoveu elevação linear no volume aplicado, reforçando a importância da correta regulação do sistema para se alcançar boa cobertura do alvo. A interação negativa entre pressão e marcha indicou que o efeito do incremento da pressão foi mais acentuado na menor velocidade.

A Análise de Variância (ANOVA) do modelo revelou que a pressão do bico ($F(1;28) = 323,21$; $P < 0.001$), a marcha ($F(1;28) = 2027,41$; $P < 0,001$) e a interação desses dois fatores ($F(1;28) = 103,77$; $P < 0.001$) influenciaram significativamente a vazão observada.

A Figura 1 apresenta a relação entre a pressão do bico e a velocidade de deslocamento sobre o volume pulverizado (L/ha), conforme descrito pelo modelo ajustado. Observa-se que o volume aplicado aumentou linearmente com o incremento da pressão do bico (Estimativa = $26,75 \pm 1,34$; $t = 19,91$; $P < 0.001$), para ambas as velocidades. Entretanto, a velocidade de deslocamento exerceu efeito significativo sobre o volume pulverizado, sendo que a 3ª marcha reduzida resultou em maiores volumes aplicados em comparação à 3ª marcha simples, em todas as pressões testadas (Estimativa = $- 47,25 \pm 5,20$; $t = - 9,08$; $P < 0.001$). A interação negativa entre pressão e velocidade ($-19,35 \times \text{Pressão} \times \text{Velocidade simples}$) indica que o efeito do aumento da pressão foi mais acentuado na menor velocidade (Estimativa = $- 19,35 \pm 1,90$; $t = - 10,18$; $P < 0.0$).

Esses resultados evidenciam que maiores volumes de calda são obtidos quando se utiliza menor velocidade de deslocamento e maior pressão de trabalho, combinação que proporciona maior deposição e potencial de cobertura do alvo durante a pulverização.

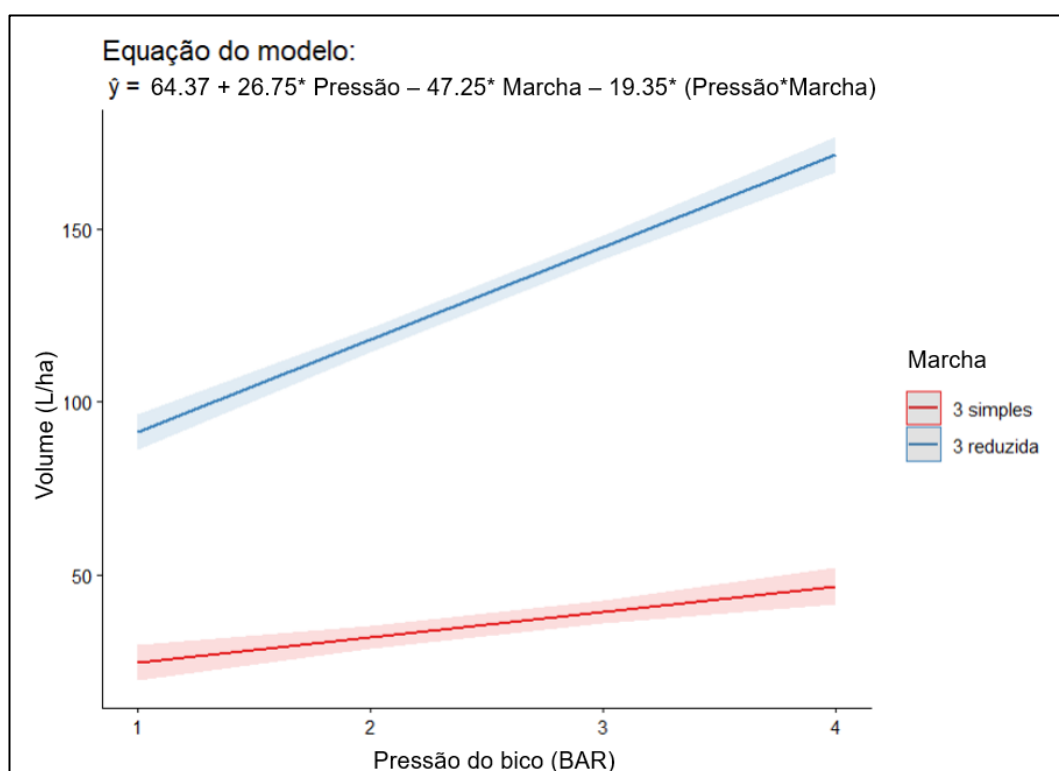


Figura 1: Relação entre o volume pulverizado (L/ha) e a pressão do bico (BAR) para diferentes marchas de operação (3ª simples e 3ª reduzida). A equação para estimação da vazão é apresentada na figura, onde $\text{Marcha} = 0$, se Marcha 3ª simples. $\text{Marcha} = 1$, se marcha 3ª reduzida.

Os resultados reforçam a necessidade de calibrar o pulverizador considerando simultaneamente pressão e velocidade de deslocamento, uma vez que ambos determinam a uniformidade da aplicação, risco de deriva e a eficiência no controle fitossanitário. Assim, a combinação de maior pressão com menor velocidade se mostrou a condição mais eficiente para melhorar a deposição da calda.

Foi demonstrado de forma consistente, que tanto a pressão de trabalho dos bicos quanto a velocidade de deslocamento do pulverizador influenciam significativamente o volume de calda aplicado (L/ha). A maior aplicação observada na 3ª marcha reduzida confirma que velocidades menores ampliam o tempo de exposição do jato sobre a área tratada, resultando em maior volume entregue, representando um padrão coerente com diversos estudos, como os de Dai et al. (2023) e de Benassi et al. (2024), que identificaram que a elevação da velocidade reduz a deposição, a penetração e a eficiência agrônômica da aplicação. Da mesma forma, outros autores, como Zhang et al. (2023), comprovam que a distribuição das gotas dentro do dossel é comprometida em velocidades elevadas, mesmo quando o volume total aplicado é mantido, reforçando a importância do controle operacional.

O aumento linear do volume aplicado com a elevação da pressão também corrobora fundamentos hidráulicos bem estabelecidos, conforme descrito por Antuniassi e Boller (2011) e por manuais técnicos amplamente utilizados na regulação de pulverizadores (CPT, 2023; Embrapa, 2014). No entanto, Hembree (2020), Butler Ellis et al. (2004) e Wolf (2000), alertam que pressões elevadas reduzem o diâmetro das gotas, tornando-as mais suscetíveis à deriva, evaporação e perdas para fora do alvo. Estudos de Cunha et al. (2010) também indicam que o aumento da pressão desloca o espectro de gotas para classes mais finas, elevando o risco de contaminação de áreas adjacentes e diminuindo a eficiência no controle fitossanitário. Assim, embora este trabalho confirme que o aumento da pressão traz um acréscimo do volume aplicado, ele igualmente reforça a necessidade de avaliar tais condições frente ao custo-benefício, especialmente relativo ao risco de deriva e à segurança ambiental.

A identificação da interação significativa entre pressão e velocidade representa uma contribuição relevante e de caráter inovador. Enquanto grande parte da literatura trata fatores operacionais de forma isolada, este estudo demonstrou que o efeito da pressão sobre o volume aplicado depende diretamente da velocidade de deslocamento, algo pouco explorado em

trabalhos empíricos, principalmente realizados em condições reais de campo. Estudos importantes, como os de Gil et al. (2007), Wang et al. (2022) e Ferguson et al. (2015), discutem que múltiplos fatores operacionais interagem de maneira complexa durante a pulverização, mas poucos quantificam essa interação sob condições reais, como feito neste trabalho. Esse achado fornece indicações fundamentais para calibração, recomendando que operadores ajustem pressão e velocidade simultaneamente, e não de maneira independente.

O fato de o experimento ter sido conduzido em condições reais de campo amplia significativamente a aplicabilidade prática dos resultados. Fatores como irregularidade do terreno, turbulência gerada pelo trator, oscilação da barra e variação ambiental são reconhecidos por diversos autores. Tanto Doico (2011), quanto Nuyttens et al. (2007) entendem estes fatores como determinantes na dinâmica de distribuição de gotas. Tais elementos são difíceis de reproduzir em ambiente controlado e reforçam o valor do presente estudo, ainda que introduzam limitações. Também é importante considerar que, conforme destacado por Liu et al. (2020) e por Zhang et al. (2023), volume aplicado (L/ha) não equivale necessariamente à deposição efetiva sobre o alvo, e, portanto, estudos complementares envolvendo medição de cobertura, espectro de gotas e deriva são recomendados.

As implicações práticas dos resultados são amplas. Recomenda-se que a calibração operacional considere a interação entre pressão e velocidade, utilizando curvas de resposta como as apresentadas neste trabalho para orientar ajustes precisos em campo. Estratégias de manejo que priorizem menores velocidades com pressões adequadas podem maximizar a eficiência agrônômica, embora exijam análise do custo operacional, tendo em vista a menor capacidade de campo (ha/h). Além disso, reforça-se a necessidade de capacitação de operadores, uma vez que muitos ainda realizam ajustes de regulação de forma isolada. Do ponto de vista ambiental, os resultados reforçam a importância de evitar pressões excessivas em velocidades altas (combinação recorrente em campo), que podem aumentar substancialmente o risco de deriva, conforme atestado pela literatura técnica visitada.

Dessa forma, conclui-se que o presente estudo contribui significativamente para o entendimento integrado da pulverização agrícola ao demonstrar, sob condições reais de operação, que a eficiência da aplicação não depende apenas dos parâmetros isolados, mas da combinação entre eles. Os resultados reforçam princípios amplamente aceitos na literatura, mas também avançam ao quantificar interações pouco investigadas, oferecendo bases científicas sólidas para recomendações operacionais, capacitação técnica e práticas sustentáveis. Estudos futuros devem avançar na análise da deposição efetiva, espectro de gotas, deriva, custo

operacional e influência de diferentes tipos de bicos, de forma a ampliar ainda mais a compreensão sobre a qualidade e a segurança da pulverização agrícola.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que tanto a pressão de trabalho dos bicos, quanto a marcha do trator exercem influência significativa sobre o volume de calda aplicado durante a pulverização agrícola. A análise estatística evidenciou efeitos principais expressivos e uma interação significativa entre os fatores, indicando que o impacto da pressão sobre o volume aplicado depende diretamente da velocidade de deslocamento.

Observou-se que maiores volumes de calda foram obtidos na 3ª marcha reduzida, independentemente da pressão utilizada, evidenciando que velocidades menores aumentam o tempo de exposição do sistema de pulverização sobre uma mesma área, resultando em maior deposição. Além disso, o aumento da pressão promoveu elevação linear no volume aplicado, reforçando a importância da correta regulação do sistema para se alcançar boa cobertura do alvo. A interação negativa entre pressão e marcha indicou que o efeito do incremento da pressão foi mais acentuado na menor velocidade.

Conclui-se, portanto, que práticas adequadas de calibração e escolha criteriosa dos parâmetros operacionais são fundamentais para otimizar o processo de pulverização, reduzindo desperdícios, neutralizando os efeitos de impactos ambientais e garantindo maior eficácia no manejo de pragas e doenças em plantações. Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para recomendações práticas aplicáveis em campo, contribuindo para operações mais seguras, eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G. S.; ANTUNIASSI, U. R.; BALAN, M. G. **Simulação da dinâmica das gotas de pulverização agrícola usando CFD**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 120–130, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/QnGvb6hSJDrs7kw6J6qBdCP>> Acesso em: 16 nov. 2025.
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Botucatu: FEPAF, 2011.
- BENASSI, A. C.; RESENDE, L. J.; PEREIRA, F. M. **Eficiência da pulverização agrícola em cafeeiros sob diferentes velocidades de deslocamento**. Revista AgroVet Sul de Minas, v. 4,

- n. 1, 2024. Disponível em: <<https://periodicos.unis.edu.br/agrovetsulminas/article/view/354>> Acesso em: 12 nov. 2025.
- BUTLER ELLIS, M. C.; MILLER, P.; TANNER, G.; WILSON, I. **Airborne spray drift and spray quality**. Pest Management Science, v. 60, p. 1149–1154, 2004.
- CHEN, S. et al. (2020). **Effect of Droplet Size Parameters on Droplet Deposition and Drift for Pesticide Spraying**. Agriculture, 10(2), 195.
- CPT- CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. **Como fazer a calibração de pulverizadores de barra tratorizados**. 2023. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br>>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. **Spectrum and velocity of droplets of spray nozzles with and without air induction**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 120–130, 2010.
- DAI, Q. et al. **Spray penetration and deposition under different ground speeds in low-flow air-assisted sprayers**. Agronomy, v. 13, n. 2, 2023.
- DIAS, L. P. **Deriva de agrotóxicos em diferentes condições de vento: uma análise em túnel aerodinâmico**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2019. Disponível em: <<https://locus.ufv.br/items/1e88d3a3-55d2-4edc-9c92-54433d0d43a7>> Acesso em: 15 nov. 2025.
- DOICO, M. A. **A evolução do pulverizador agrícola: um estudo técnico e histórico**. Revista Científica Núcleo do Conhecimento, v. 1, n. 1, 2011.
Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-deproducao/evolucao-do-pulverizador>> Acesso em: 14 nov. 2025.
- EMBRAPA. **Tecnologias de aplicação para a agricultura**. Circular Técnica. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 16 nov. 2025.
- FELSOT, A. S., et al. (2010). **Agrochemical Spray Drift: Assessment and Mitigation**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 40(1), 1–42.
- FERGUSON, J. C. et al. **Performance of electrostatic spraying systems under different operational settings**. Crop Protection, v. 78, p. 65–71, 2015.
- GIL, E.; LLORENS, J.; LLOP, J. **Air-assisted and conventional orchard spraying: comparison and optimization**. Biosystems Engineering, v. 96, n. 3, p. 423–439, 2007.
- HEMBREE, C. **Spray Drift Management and Droplet Size**. University of California Cooperative Extension, 2020.
- LIU, Y. et al. **Spray deposition in greenhouse crops under different operating pressures and speeds**. Sustainability, v. 12, n. 17, 2020.

- LÜDECKE, D. **sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science**. R package v. 2.8.17, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=sjPlot>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008.
- NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. **Spray drift as affected by meteorological and technical factors**. Biosystems Engineering, v. 97, p. 1–14, 2007.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- SHAN, C. F. et al. (2021). **Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by UAV**. International Journal of Agricultural and Biological Engineering.
- SISTEMA FAMATO; SENAR-MT. **Pulverizadores hidráulico-pneumáticos: operação e manutenção**. Cuiabá: SENAR-MT, 2023. Disponível em: <https://sistemafamato.org.br>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- WANG, X. et al. **Influence of operating pressure on application rate and spray drift under field conditions**. Agriculture, v. 5, n. 1, 2022.
- WEICAI, Q., & PANYANG, C. (2023). **Analysis of the research progress on the deposition and drift of spray droplets by plant protection UAVs**. Scientific Reports, 13, 14935.
- WOLF, R. **Effects of Spray Pressure on Droplet Size**. Kansas State University Agricultural Extension, 2000.
- ZHANG, X.; LI, Y.; WANG, H.; ZHOU, L. **Effect of travel speed on spray deposition and canopy penetration in air-assisted sprayers**. Frontiers in Plant Science, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2023.1184244/full> Acesso em: 17 nov. 2025.