



EVOLUÇÃO DO PULVERIZADOR DE POMARES DO TIPO TORRE: DESAFIOS NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

ARTIGO DE REVISÃO

SILVA, Rodrigo do Nascimento e¹, BALTHAZAR, José Manoel²

SILVA, Rodrigo do Nascimento e. BALTHAZAR, José Manoel. **Evolução do pulverizador de pomares do tipo torre: desafios na pulverização agrícola.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 09, Ed. 08, Vol. 01, pp. 83-100. Agosto de 2024. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/evolucao-do-pulverizador>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/evolucao-do-pulverizador

RESUMO

A aplicação de agrotóxicos é uma operação agrícola que nem sempre gera uma boa eficiência, podendo ainda provocar danos ao ambiente e à produção, além de altos riscos ao operador do equipamento. Por isso, há uma grande demanda por alternativas que reduzam impactos ambientais causados pela pulverização agrícola. A tecnologia baseia-se no emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem atingir o alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas. O objetivo deste estudo é revisar aspectos relacionados à evolução e à eficiência do pulverizador de pomares tipo torre, destacando métodos que auxiliem no controle químico de pragas. Foram incluídos estudos mais importantes, considerando principalmente o período dos últimos 20 anos, através de buscas em portais internacionais, repositórios institucionais e eventos científicos. Os resultados comprovam que o pulverizador agrícola de pomar tipo torre é amplamente utilizado, apresentando variações quanto aos métodos de pulverização utilizada nos principais estudos analisados. A eficiência do pulverizador tipo torre pode ser comprovada nos principais estudos associando tecnologias para minimizar os problemas relacionados à vibração e estabilidade. Observa-se que, mesmo com investimentos por parte da indústria de equipamentos agrícolas, buscando modelos adaptáveis, ainda há pontos que precisam ser melhorados devido à área ou a procedimentos técnicos quanto à utilização para evitar problemas ambientais e prejuízos financeiros com o comprometimento da produção, gerados pelo desperdício ou pelas técnicas incorretas de pulverização.



Palavras-chaves: Agricultura, Pulverização agrícola, Controle de pragas.

1. INTRODUÇÃO

O uso de produtos fitossanitários é amplamente estudado devido aos custos econômicos e ambientais, sendo encontrados métodos eficazes para aplicação de pesticidas e produtos fitofarmacêuticos. Inicialmente, a distribuição de agroquímicos era compartilhada perfeitamente nas hortas, pois a dose de cada unidade de área de solo era expressa em taxa de dose, assim foram desenvolvidos modelos de doses para pomares e vinhas (Planas *et al.*, 2006).

A finalidade dos pesticidas precisa ser tecnicamente eficaz, incluindo mais do que a aplicação específica da massa selecionada de calda de pulverização. Como a elevação do custo dos produtos químicos e do aumento do número de aplicações se tornou necessária mais eficiência na pulverização. As tendências recentes nas aplicações de pulverização assistida por ar baseiam-se na utilização de pulverizadores não convencionais para aumentar as opções de tratamento e reduzir a poluição (Wiedenhoff, 1991).

Os pomares são identificados por um grande número de árvores em propriedades de pequeno porte utilizando altura, densidade e uma variedade de formatos de árvores. Isso levou os fabricantes de pulverizadores a endossar o projeto e o desenvolvimento de máquinas com declínio direto dos pulverizadores de jato de ar tradicionais com fácil ajuste para combinar com a copa da cultura. Uma abordagem para atingir este objetivo foi a instalação de saídas de ar verticais ajustáveis. A disposição desses pulverizadores assume muitos aspectos diferentes, alguns dos quais foram estudados e outros a dose não foi verificada (Balsari; Tamagnone, 1996).

Dentre as tecnologias do setor agrícola, com enfoque às plantações de grande porte, destacam-se os pulverizadores de pomares do tipo torre. A estrutura é montada sobre um reboque, composta por uma ou duas torres de pulverização dotadas de ventiladores que espalham de forma homogênea os defensivos agrícolas. Entretanto, devido à altura da torre de pulverização e a irregularidade dos terrenos agrícolas, o sistema pode



apresentar sinais de instabilidade, dificultando a pulverização. (Thiele; Belusso, 2016, p. 1).

Conforme Cunha Junior, Felix e Balthazar (2017), o processo de pulverização de pomares é de extrema importância na fruticultura, pois além de prevenir prejuízos financeiros associados à perda de uma produção e pode garantir a qualidade da fruta que chegará ao consumidor final. Este processo usa a torre pulverizadora equipada com diversos ventiladores e, vibrando de forma não linear (Cunha Junior; Felix; Balthazar, 2017).

Uma forma moderna de pulverizador de pomar assistido por ar consiste em uma estrutura vertical, ou torre equipada com bicos de pulverização auxiliados por ventiladores. O pulverizador se desloca entre as fileiras de cultivo e a torre é montada em um trator agrícola sobre uma carreta, com ou sem suspensão (Sartori Júnior; Balthazar; Pontes, 2009).

Os pulverizadores de pomar convencionais usam um ventilador de fluxo axial central que fornece assistência de ar à pulverização. Contudo, foi desenvolvido um novo design com vários ventiladores montados em uma torre vertical. Este tipo de equipamento produz fluxos de ar convergentes e perpendiculares à superfície da cultura. Como resultado, adaptam-se mais facilmente à geometria da cultura, são mais eficientes e produzem menos contaminação do ar e do solo. Porém, a altura da torre, em torno de 6 m, pode causar movimentação excessiva em superfícies irregulares do campo (Sartori Júnior; Balthazar; Pontes, 2009).

Conforme descreve Mahmud *et al.* (2021), os pulverizadores de jato de ar possuem um único ventilador localizado na parte traseira da máquina, que puxa o ar e redistribui-o para cima na copa das árvores. A direção e o volume do ar são fatores críticos porque o volume de ar liberado do ventilador deve ser compatível com a copa das árvores para deposição e cobertura de pulverização de forma adequada. “Os pulverizadores convencionais trazem desafios significativos para combinar a saída de ar durante a pulverização com o que é necessário para uma deposição bem-sucedida de gotas de pulverização” (Mahmud *et al.*, 2021, p. 3).

Os pulverizadores, conforme descrito no estudo de Mahmud *et al.* (2021, p. 4),



incluem pulverizadores convencionais de jato de ar com ventilador axial, pulverizadores de canhão, pulverizadores de túnel, pulverizadores de torre e pulverizadores de jato de ar personalizados ou modificados. O pulverizador assistido por ar com ventilador axial produz um grande volume de pulverização radial e é o projeto de pulverizador utilizado em pomares arbóreos frutíferos. Os pulverizadores tipo torre, que direcionam o fluxo de ar do ventilador em dutos horizontais em um plano vertical, melhoraram a cobertura de pulverização na parte superior centro das árvores e funciona bem para árvores mais altas.

Blanco *et al.* (2019) constatou que o uso de pulverizadores de torre reduz significativamente níveis elevados de PMC (deriva) em campos de pomar vizinhos quando comparado aos pulverizadores AFA. O pulverizador MFT reduziu os níveis de PMC mais eficazmente do que o pulverizador DAT. Essas descobertas sugerem que o número de doenças ocupacionais relacionadas à deriva de pesticidas poderia ser reduzido pela indústria agrícola.

Protótipos apresentados no estudo de Miranda-Fuentes *et al.* (2017, p. 58) contribuiriam significativamente para a redução das doses de pesticidas aplicadas nas copas das oliveiras e, portanto, têm o potencial de ter uma influência positiva nas condições ambientais. O projeto atraiu a participação de fabricantes de equipamentos, que pretendem incluir os novos pulverizadores desenvolvidos em seus catálogos comerciais. Os protótipos desenvolvidos representam um alto nível de inovação e são originais em sua concepção. Além disso, eles estão bem adaptados para uso em olivais tradicionais e intensivos e suficientemente duráveis para uso em condições reais de campo.

Em relação ao controle da pulverização, as soluções mais calculadas para a redução das perdas por deriva ocorrem através do ajuste da saída de ar do pulverizador que corresponda à copa da árvore. Com base nessa abordagem ocorre o desenvolvimento de pulverizadores assistidos por ar, sendo que as fileiras de proteção e os sistemas de reciclagem apresentam a borda total do líquido de pulverização alvo (Balsari; Tamagnone, 1996).

O objetivo deste estudo é apresentar aspectos relacionados à evolução e eficiência



do pulverizador de pomares do tipo torre, destacando métodos alternativos que auxiliem no controle químico de pragas, através da análise do desempenho do pulverizador, além de destacar a evolução do equipamento.

2. MÉTODOS

Esse trabalho se propõe a analisar os principais estudos realizados na área, no sentido de registrar as inúmeras abordagens científicas relacionadas à testagem do pulverizador de torre, amplamente utilizado em manejo de pomares, destacando aspectos relacionados aos métodos de utilização do equipamento para melhor eficiência. Trata-se de um estudo observacional e analítico com base em revisão bibliográfica. Como se trata de um tema amplo se torna necessário, através da delimitação, encontrar resultados que possam justificar a utilização desse equipamento agrícola em substituição ao método convencional de controle de pragas em pomares.

Os estudos incluídos foram produzidos em especial nos últimos 20 anos, mas também são apresentadas definições e citações de autores imprescindíveis como Cézar (2014); Cunha Junior, Felix e Balthazar (2017); Peruzzi, Chaverette e Peticarrari (2013); Sartori Júnior, Balthazar e Pontes (2007); Clerici e Belusso (2016); Cunningham e Harden (1999) e Ranjan *et al.* (2019) para a fundamentação teórica e discussão dos principais resultados, sendo excluídos estudos onde não foi testada a eficácia do equipamento. A base de dados inclui pesquisa em portais internacionais de busca, bem como artigos publicados em revistas, periódicos e eventos científicos, além de especificações do fabricante do equipamento. O processamento dos dados foi realizado nos resultados encontrados nos estudos analisados, sobre a importância ou sugestões para pesquisas futuras, uma vez que apresente pesquisa foi conduzida dentro dos padrões éticos e critérios puramente científicos.

3. RESULTADOS

Cézar (2014) analisou a estrutura de um pulverizador de pomares do tipo torre (modelo Arbus 4000 Multisprayer), produzido pela empresa Jacto S. A. no ano de 2007. O

equipamento é amplamente empregado no controle fitossanitário de pomares de grande e médio porte, mas sua estrutura sofre intensamente com as ações provocadas por irregularidades constadas em terrenos de localidades agrícolas. O modelo analisado consiste conta com um reservatório e uma torre de aplicação, montados sobre uma carreta ou chassi, conforme apresentado na figura 1:

Figura 1 – Arbus 4000 Mutisprayer



Fonte: Jacto S. A., (2024a).

Apresentado como evolução do pulverizador Arbus 4000, o modelo apresentado pela empresa apresenta sistema de pulverização com a torre de múltiplos ventiladores acionados eletricamente (Figura 2), permite uma aplicação convergente e ajuste da distância dos defletores na planta, gerando eficiência no direcionamento do produto e, também, por atingir alvos considerados difíceis, localizados no interior da copa (Jacto, 2024a).

Figura 2 – Arbus 4000 Tower



Fonte: Jacto S.A, (2024b).

Os ventiladores acionados por motores elétricos permitem regular a velocidade do ar, proporcionando maior aproveitamento energético e redução no consumo de combustível. O sistema Multicontrol no pulverizador Arbus 4000 Tower conta com quatro sensores de presença responsáveis por acionar os segmentos da torre de pulverização, mantendo o volume de aplicação constante e correção da vazão em mudanças de velocidade. Apresenta também um sistema que permite o uso da telemetria, que dá ao administrador controlar precisamente as operações realizadas e do planejamento de todas as aplicações (Jacto, 2024b).

De acordo com as descrições apresentadas pelo fabricante, o sistema de transmissão é considerado inovador e o sistema de embreagem protege os componentes mecânicos da transmissão e correia. A transmissão do ventilador é segura, com menor necessidade de troca de componentes em manutenções periódicas. Já o sistema



tensionado de correias elimina a necessidade de tensionamento periódico da correia, diminui o fator de escorregamento da transmissão e melhora a eficiência na aplicação (Jacto, 2024b).

Além da Jactus S. A., outros dois fabricantes de pulverizadores de ar no Brasil são a Pulverizadores Adventure e a IMEP Agrícola Pulverizadores. Com atuação no mercado nacional e internacional, a IMEP é especialista em implementos para a pulverização agrícola, fornecendo apoio das comitivas com carretas tanques para diesel, água e calda pronta. A missão da indústria é viabilizar de modo sustentável a redução de custos e ganho de produtividade do agricultor por meio da mecanização, do plantio à colheita. Já a Pulverizadores Adventure fabrica máquinas e equipamentos de alta qualidade e de baixo custo para agricultura, tendo atomizadores, jato – canhão, barras, lavadores, implementos agrícolas, pulverizadores com barras, pulverizadores com pistolas, pulverizadores hidráulicos, pulverizadores pastagem, pulverizadores semi-hidráulicos e pulverizadores eco pastagem.

4. DINÂMICA

Simulações numéricas mostraram que o pulverizador de torre de pomar possui uma dinâmica não linear o que aumenta a eficiência, capaz de reproduzir fenômenos complexos como o caos. A dinâmica do sistema segue uma lei de cascata de energia direta, onde a energia injetada nas baixas frequências é transferida de forma não linear através das frequências médias da banda, sendo dissipada nas altas frequências. Uma análise probabilística revela uma ampla gama de respostas possíveis para o sistema mecânico e mostra uma possibilidade não negligenciável de grandes vibrações laterais serem desenvolvidas durante a operação do pulverizador (Cunha Junior; Felix; Balthazar, 2017, p.25).

Peruzzi, Chavarette e Peticarrari (2013) analisam a dinâmica do sistema de pulverização que consiste de torre de pulverização montada em carreta e sua principal contribuição foi considerar uma lacuna no ponto de junção entre o reboque e a torre de pulverização. A análise da estabilidade dinâmica do sistema,



principalmente da torre de pulverização, é fundamental, pois as vibrações mecânicas do sistema podem afetar a qualidade e eficiência de aplicação durante o trabalho em campo. No estudo dos parâmetros de controle do sistema de torre de pulverização com vibrações periódicas em a junção, observou-se que sua dinâmica é instável e que as vibrações no ponto de junção não influenciam a dinâmica do sistema.

A pesquisa de Peruzzi, Chavarette e Peticarrari (2013) mostra que os sistemas mecânicos podem apresentar caos devido à natureza imperfeita da montagem das juntas ou folgas devido ao desgaste, fricção e propagação de trincas por fadiga. As vibrações no ponto de junção do sistema reboque-torre de pulverização podem ser modelado por excitações paramétricas periódicas em suporte. O estudo considera o problema das oscilações, auto excitadas devido à existência de lacunas no implemento agrícola, introduzindo uma pequena vertical vibração e periódica no suporte do pêndulo invertido, o modelo spray tipo de torre.

Godoy-Neto *et al.* (2022) verificaram a qualidade e eficiência da pulverização adaptada em comparação com o pulverizador convencional em sistemas de cultivo. Os pulverizadores foram testados em dois olivais diferentes e calibrados de acordo com as dimensões da árvore. Os resultados mostraram que a pulverização adaptada à cultura produz resultados positivos em comparação com equipamentos convencionais usados em uma ampla gama de culturas. Nesse sentido, os sistemas de pulverização disponíveis devem ser montados em estruturas apropriadas para atender às necessidades de culturas. Além disso, os sistemas de cultivo podem necessitar diferentes soluções técnicas para otimizar tratamentos.

Pesquisas avançadas sobre pulverizadores de taxa variável são analisadas e perspectivas futuras são apontadas por Wei *et al.* (2013). De acordo com os estudos, um pulverizador de taxa variável de pomar aplica a quantidade apropriada de proteção de plantas apenas onde é necessário com base em dados de detecção de sensores avançados, um sistema que tem atraído cada vez mais atenção. Os principais estudos consideram que a tecnologia de aquisição em tempo real da densidade da folhagem, doenças e pragas das plantas e a sua gravidade e parâmetros meteorológicos necessitam de melhorias adicionais.



Com base em probabilidade, Cunha Junior, Felix e Balthazar (2017) analisaram a dinâmica não linear de um pulverizador torre de pomar submetido a excitações aleatórias devido a irregularidades do solo. Um modelo a partir de probabilidades consistente de incertezas é construído para descrever cargas aleatórias e prever variabilidades na resposta do sistema mecânico, sendo a dinâmica é abordada nos domínios do tempo e da frequência.

Para analisar o movimento de rolamento de um pulverizador de torre de pomar em movimento, Sartori Júnior, Balthazar e Pontes (2009) apresentaram um modelo dinâmico não linear, baseado em um modelo de pêndulo invertido. Através de simulações numéricas foi analisada a dinâmica dos movimentos de rotação e das excitações senoidais do pulverizador por meio de diferentes configurações. Devido a problemas de instabilidade decorrentes da torre foi proposto um modelo matemático para análise do movimento do rolo pulverizador, analisada a influência dos parâmetros na estabilidade da torre e da resposta transitória do modelo e de frequência do modelo. Os principais parâmetros que influenciam a estabilidade da torre são a escolha do pneu, a rigidez e o amortecimento torsional, além da largura da pista do reboque e a posição do pivô. (Sartori Júnior, Balthazar e Pontes, 2009).

Com base em diagramas de bifurcação, Clerici e Belusso (2016) encontraram diferentes tipos de comportamentos relacionados ao uso do pulverizador do tipo torre. A análise da variação da rigidez da junção torsional constatou que o parâmetro não influencia no deslocamento angular da carreta. Dessa forma, o sistema permanece estável para todo o intervalo do parâmetro. Já durante a variação da frequência dos sinais de excitação, além da estabilidade, o sistema apresentou comportamento instável. No teste em terrenos mais regulares, a resposta foi estável para valores baixos de frequência. Por outro lado, nos valores altos de frequência, o sistema apresentou instabilidade (Clerici; Belusso, 2016).

A utilização dos diagramas de bifurcação permitiu descrever o comportamento do deslocamento angular da carreta a partir da variação de parâmetros de controle. No estudo, foi possível visualizar a transição da estabilidade para a instabilidade, gerando mudanças qualitativas no sistema. Dessa forma, os diagramas de



bifurcação são ferramentas eficazes na análise de modelos não lineares (Clerici; Belusso, 2016).

Dentre os principais movimentos realizados pelo pulverizador que se encontra montado em uma carreta tracionada por um trator, Belusso (2011) analisou a estabilidade do modelo não linear de um pulverizador agrícola do tipo torre, verificando os deslocamentos vertical e angular da carreta e da torre. Esses movimentos são descritos por um sistema de equações não lineares e, complementarmente, durante a variação da amplitude de excitação, verificou-se o movimento horizontal da torre.

5. DISCUSSÃO

De acordo com estudo de Doico (2011), as oscilações constatadas na estrutura do pulverizador agrícola tipo torre são ocasionadas pela velocidade que o tratorista trafega e pelas irregularidades dos terrenos. A tendência verificada é o aumento cada vez maior das velocidades, tendo em vista que as pulverizações são feitas em intervalos de tempo curtos, sem perder a qualidade da aplicação dos defensivos.

Ainda segundo Doico (2011), a velocidade dos tratores utilizados para a pulverização gira em torno de 2 a 6 km.h⁻¹, estudando-se possibilidades de chegarem 10 a 12 km.h⁻¹ ou mais. A altura da torre chega a 6 metros, pois é utilizada em pomares que possuem grandes copas, o que geram as oscilações da torre do pulverizador, já que o terreno por onde o trator trafega é irregular.

Para Cunningham e Harden (1999), a pulverização convencional de grandes volumes de pesticidas em culturas cítricas com pulverizadores de barra oscilante resulta em baixos níveis de retenção de pesticidas nas árvores e em altos níveis de perdas fora do alvo. O estudo foi conduzido para estabelecer se a pulverização de pesticidas de menor volume com um pulverizador de baixo perfil assistido por ar e pulverizadores assistidos por ar equipados com torres transportadoras de ar (torres de ar) poderiam substituir a pulverização convencional de pesticidas de alto volume. A redução na taxa de dose de inseticida produzida pelo uso de volumes de pulverização mais baixos com



taxas registradas baseadas no volume de pulverização resultou em ineficiência no controle de pragas em alguns dos tratamentos de menor volume.

Conforme demonstrado no estudo de Sartori Júnior, Balthazar e Pontes (2009), o pulverizador se desloca entre as fileiras de cultivo e a torre é montada em um trator agrícola sobre uma carreta, com ou sem suspensão. Em algumas situações, o movimento lateral da estrutura vertical pode afetar negativamente os resultados do tratamento. Assim, é importante reconhecer e controlar os movimentos laterais. Nesse processo, o modelo dinâmico não linear, baseado em um modelo de pêndulo invertido, pode ser usado para analisar o movimento de rolamento de pulverizadores de torre de pomar em movimento.

Ainda, segundo os mesmos autores, a escolha dos pneus e a pressão de inflação dependem, principalmente, da massa total do equipamento, da aplicação, da velocidade de deslocamento e da compactação do solo. Dessa forma, os autores sugerem que os catálogos dos fabricantes de pneus poderiam auxiliar na seleção, traçando recomendações por meio de diferentes cenários de carga. Ao contrário da rigidez do pneu, o amortecimento do pneu não tem efeito na estabilidade da torre.

Pulverizadores de torre de ar com fluxos de ar uniformes divididos superam os problemas de cobertura associados aos pulverizadores de jato de ar de baixo perfil e reduzem significativamente a pulverização e perdas devido ao desgaste do dossel e deriva. Estimar a deriva da pulverização de pesticidas, que faz parte da perda total por deriva, é uma tarefa complexa, pois as concentrações de pesticidas no ar são baixas e dependem de múltiplos fatores (Kira; Dubowski; Linker, 2018, p.32).

Existem muitos fatores importantes que afetam a deriva da pulverização além da distância. O mais importante é o tamanho inicial da gota, uma vez que partículas menores levarão mais tempo para cair, resultando em menor estabilidade em ventos turbulentos. Gotículas abaixo de 100 µm tendem a elevar o potencial de deriva. Outros fatores que afetam a deriva incluem a velocidade do vento, tipo de pulverizador, desenvolvimento da copa (foliada versus dormente), estabilidade do ar, umidade relativa e temperatura (Blanco *et al.*, 2019, p.47).



Xun *et al.* (2022) ressaltam que embora muitos pulverizadores pneumáticos de diferentes *designs* possam ser usados para aplicação de pesticidas em pomares, a falta de ajustes adequados de acordo com as características específicas da cultura leva a ineficiências e falhas na aplicação.

A aplicação eficaz de pesticidas implica em aumentar a deposição e cobertura da pulverização em diferentes zonas da copa e superfícies foliares, ao mesmo tempo em que minimiza a deriva da pulverização. O grande volume e velocidade do ar nos pulverizadores assistidos, especialmente quando não combinados com o volume da copa da cultura são os principais contribuintes para a deriva da pulverização. Este problema é frequentemente agravado em copas de vinhas que são curtas e têm volumes de copa reduzidos em comparação com culturas de árvores frutíferas (Ranjan *et al.*, 2019, p. 208).

Para Peruzzi, Chavarette e Peticarrari (2013), a condução de equipamentos de pulverização durante o trabalho no campo é uma tarefa complexa. O operador do trator deve operar a uma taxa que atenda aos requisitos de custo, alcance e volume de pulverização e mantenha uma distância adequada das copas das plantas, o que promove a qualidade da aplicação. Dependendo das condições do traçado, o aumento da velocidade poderá produzir vibrações instáveis no pulverizador de reboque e as oscilações da torre de pulverização podem prejudicar a qualidade do aplicativo.

As vibrações no ponto de junção do sistema reboque-torre de pulverização podem ser modeladas por excitações paramétricas periódicas em suporte. Assim, o sistema de equações não lineares para o problema do pulverizador de reboque apresenta parte linear com coeficientes periódicos e a Matriz de Transição de Estado (STM) do sistema podem ser obtidos numericamente, através da expansão dos polinômios de Chebyshev e o método iterativo de Picard (Peruzzi, Chavarette e Peticarrari, 2013, p.3).

Clerici e Belusso (2016) constataram que modelos dinâmicos permitem descrever o comportamento de sistemas compostos por variáveis e parâmetros de controle. Assim, na análise dos efeitos da variação de determinados parâmetros com base em diagramas de bifurcação, através da análise do deslocamento angular da carreta, os



parâmetros de controle utilizados nas simulações foram a rigidez da junção torsional da torre, a frequência e a amplitude nos sinais de excitação dos pneus. De acordo com os autores, esses parâmetros influenciam diretamente o movimento do sistema, pelo fato de se relacionarem com o acoplamento da carreta, com a torre e com o terreno. Nesse sentido, tanto valores baixos quanto altos de rigidez podem comprometer o funcionamento do pulverizador. “Valores muito baixos não permitem que a torre oscile em sua devida posição e valores muito altos fazem com que a estrutura oscile de forma única, podendo levar à quebra do equipamento” (Clerici; Belusso, 2016, p.01).

Pode-se modelar um sistema mecânico por meio de Equações Diferenciais (ED) não lineares, muitas dessas análises são realizadas de forma numérica devida à complexidade das ED (Thiele; Belusso, 2016). Os resultados numéricos obtidos possuem extrema importância pois permite a análise de pontos de possíveis pontos de equilíbrio e de estabilidade, permitindo uma busca das aproximações das soluções numéricas das ED, e assim possibilitando interpretá-las (Monteiro, 2002). O movimento do pulverizador em análise foi o deslocamento angular da torre, que sofre maior influência das vibrações. Já os sinais de excitação durante as simulações origem no solo, através do contato dos pneus com a superfície: cada pneu representa uma excitação distinta (Thiele; Belusso, 2016, p.3-4).

Devido a uma série de limitações apresentadas nos estudos analisados, como por exemplo, testes com demais modelos e de fabricantes diferentes, sugere-se para estudos futuros pesquisas sobre outros modelos.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou as principais pesquisas realizadas nos últimos anos em relação aos parâmetros de controle, em especial das vibrações, e análises de desempenho relacionadas à utilização do pulverizador agrícola de pomares do tipo torre. Nesse sentido, os objetivos foram atingidos, uma vez que os principais estudos apresentaram modelos de análise, chegando a resultados importantes para o aprimoramento do equipamento e melhoria nas técnicas de controle de pragas.



Constatou-se que diferentes comportamentos apresentados por sistemas não lineares podem apresentar variações em determinados parâmetros. Da mesma forma, verificou-se a influência de parâmetros de controle no deslocamento angular da torre. Trata-se de questões técnicas relacionadas à necessidade de estudos e de planejamento da atividade, para que a falta de informação sobre as formas de manejo não acarreta prejuízos financeiros e perdas pelo controle inadequado.

Os estudos comprovam que o pulverizador agrícola de pomar do tipo torre é amplamente utilizado, mas que os métodos de pulverização são diferenciados, bem como as irregularidades apresentadas no terreno por onde o trator trafega. Assim, mesmo com a eficiência comprovada desse tipo de pulverizador, ainda há pontos que precisam ser melhorados para que seja reduzido o nível de vibrações e não ocorra desperdício ou para que o pulverizador seja utilizado de forma a atingir as alturas necessárias sem desperdício do produto.

O emprego de tecnologias e ferramentas auxiliares contribui para as reduções de amplitudes de árvores em pomares, no sentido de minimizar as amplitudes de oscilação da carreta, do chassi e da torre. Nos componentes do sistema, no entanto, essas reduções de amplitude são mínimas para a roda e para a torre. Os resultados dos principais estudos, em especial sobre a dinâmica dos pulverizadores de ar tipo torre devem ser avaliados pelos fabricantes, para que consigam fabricar equipamentos que propiciem, de forma sustentável, maior eficiência sem comprometer a produção agrícola.

REFERÊNCIAS

BALSARI, P. E TAMAGNONE, M. (1996) Primeira avaliação de um pulverizador de túnelem vinha. Anais. I Simpósio sobre Aplicação de Pesticidas. Numana, Itália, Vol.1: 439-446.

BELUSSO, C. L. M. (2011) Análise da estabilidade do modelo não linear de um pulverizador agrícola do tipo torre. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Ijuí. <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/server/api/core/bitstreams/e5f3a56e-b024-4b09-b826-bb20f844965b/content>>.



BLANCO, M. N., FENSKE, R. A., KASNER, E. J. *et al.* (2019). Monitoramento em tempo real da deriva da pulverização de três pomares diferentes. *Quimosphera* 222, 46-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.092>

CÉZAR, E. S. (2014). Metodologia de sistema de controle para uma suspensão veicular com magneto reológico (MR) para um pulverizador do tipo torre. Repositorio.unipampa.edu.br. https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/ri_u/923.

CLERICI, K. S. E BELUSSO, C. L. M. (2016). Utilização de diagramas de bifurcação como ferramenta para detecção de comportamento regular e caótico em um pulverizador agrícola do tipo torre. SEPE - Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS, 6. <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/view/4797>

CUNHA JR, A., FELIX, J. L. P., e BALTAZAR, J. M. (2017). Explorando a dinâmica estocástica não linear de uma torre pulverizadora de pomar movendo-se através de um terreno irregular: tendências recentes em mecânica não linear aplicada e física. 203–213. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63937-6_11.

CUNNINGHAM, G. P. E HARDEN, J. (1999). Pulverizadores para reduzir volumes de pulverização em árvores cítricas maduras. *Proteção de Cultivos*, 18, 275-281. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00027-7).

DOICO, C. M. (2011). Dinâmica de um pulverizador torre com suspensão veicular: um enfoque do método da média. 79 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática – Mestrado) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

GODOY-NETO, A., MIRANDA-FUENTES, A., GRELLA, M. E BLANCO-ROLDÁN, G. L. (2022). Assessment of Spray Deposit and Loss in Traditional and Intensive Olive Orchards with Conventional and Crop-Adapted Sprayers. *Agronomy* 12(8), 1764. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081764>

JACTO. (2024a). Torre Arbus 2000: a solução Jacto para culturas adensadas. Disponível em: <https://jacto.com/brasil/products/pulverizadores-turbos/arbus-2000-tower>. Acesso em 04/03/2024

JACTO. (2024b). Torre Arbus 4000 Mutisprayer: a solução Jacto para culturas adensadas. Disponível em: <https://jacto.com/brasil/agriculturalmachines/pulverizadores-turbos/arbus-4000-multicontrol> acesso em 05/02/2024.

MONTEIRO, L. H. A. (2002) *Sistemas Dinâmicos*. São Paulo, Editora Livraria da Física.

MAHMUD, M.S.; ZAHID, A.; HE, L.; E MARTIN, P.(2021) Opportunities and Possibilities of Developing an Advanced Precision Spraying System for Tree Fruits. *Sensors*, 21(9), 3262. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21093262>



MIRANDA-FUENTES, A. RODRÍGUEZ-LIZANA A. *et al.* (2017) Improving plant protection product applications in traditional and intensive olive orchards through the development of new prototype air-assisted sprayers. *Crop Protection* 94, 44e58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.12.012>

KIRA, O., DUBOWSKI, Y., E LINKER, R. (2018). Medições FTIR de caminho aberto in- situ do perfil vertical da deriva de pulverização de pulverizadores assistidos por ar. *Engenharia de Biosistemas*, 169, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.010>

PERUZZI, N. J., CHAVERETTE, F. R., E PERTICARRARI, A. L. P. M. (2013) Sobre o comportamento regular e irregular de uma torre de pulverização com coeficientes periódicos. *Revista Internacional de Matemática Aplicada*, v. 26,nº.5, 537-548. DOI: <http://dx.doi.org/10.12732/ijam.v26i5.2>.

PLANAS, S., ROSELL, J.R., GIL, E., *et al.* (2006). Otimizando a aplicação de pulverização de pesticidas em culturas arbóreas. In: ASABE Reunião Internacional Anual. 2006. Portland, USA.

RANJAN, R. S. R., KHOTA, L. R., HOHEISEL, G., E GRIESHOP, M. J. (2019) Potencial de deriva de um sistema de distribuição de dossel sólido e um pulverizador axialefan aire assistido durante aplicações em videiras. *Engenharia de Biosistemas*. 188, 207–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.015>.

SARTORI JÚNIOR, S., BALTHAZAR, J. M., E PONTES JUNIOR, B. R. (2009). Dinâmica não linear de um pulverizador de torre de pomar baseado em um modelo de pêndulo duplo invertido. *Engenharia de Biosistemas*, 103(4), 417–426. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.003>

THIELE, N. E BELUSSO, C. L. M. (2016). Análise da estabilidade de um pulverizador de pomares do tipo torre utilizando diagramas de bifurcação. *JORNADA de INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*, 1(6). <https://portal.eventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/4640> .

WEI, Z.; XUE, X.; SALCEDO, R.; ZHANG, Z.; GIL, E.; SUN, Y.; LI, Q.; SHEN, J.; HE, Q.; DOU, Q.; *et al.* (2013). Key Technologies for an Orchard Variable-Rate Sprayer: Current Status and Future Prospects. *Agronomy* 13, 59. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010059>

WIEDENHOFF, H. (1991). Otimização de métodos de pulverização de árvores frutíferas com redução do uso de produtos químicos. *Monografia do Conselho Britânico de Proteção de Cultivos*. 46: 219-223.

XUN, L., GARCIA-RUIZ, F., FABREGAS, F. X., E GIL, E. (2022). Dose de pesticidas com base nas características da copa das macieiras: reduzindo o risco ambiental ao reduzir a quantidade de pesticidas: mantendo a eficácia do controle de pragas e doenças. *Science of The Total Environment Journal – Science Direct* ,826, 154204. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154204>



Material recebido: 21 de junho de 2024.

Material aprovado pelos pares: 11 de julho de 2024.

Material editado aprovado pelos autores: 01 de agosto de 2024.

¹ Doutorado em Engenharia de Produção em andamento, (stricto sensu). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR; Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil (stricto sensu); Especialização em Docência em Ensino Superior latu sensu; Graduação em Tecnologia em Automação Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR; Graduação em Matemática. Universidade Cruzeiro do Sul, UNICSUL, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3059-1302>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9423326658261533>.

² Orientador. Pós-Doutorado. Virginia Polytechnic Institute, VIRGINIA TECH, Estados Unidos. Grande área: Engenharias; Doutorado em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia USP São Carlos, ESCOLA EEUSPSC, Brasil; Mestrado em Ciências. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Brasil; Graduação em Matemática e Matemática Aplicada. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-3609>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9728054402919622>.