

**BARRA PULVERIZADORA VERTICAL SEGMENTADA COM CONTROLE DA
DISTÂNCIA BICO A BICO**
IVAN ARBELÁEZ¹, RODRIGO LEME², DANIEL ALBIERO³, ANGEL GARCIA⁴

¹Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola (Máquinas agrícolas), UNICAMP, (19)99940-7552, ivan.ruiz@feagri.unicamp.br

²Engenheiro Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola (Máquinas agrícolas), UNICAMP, r092915@dac.unicamp.br

⁴Engenheiro Agrícola, Prof. Docente Participante, UNICAMP, daniel.albiero@feagri.unicamp.br

³Engenheiro Agrícola, Prof. Docente Participante, UNICAMP, angel.garcia@feagri.unicamp.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A distância entre o bico e a planta influi na qualidade da distribuição da calda pulverizada sobre as folhas da planta, mantendo-a dentro de valores determinados durante a pulverização, é possível obter uma ótima distribuição de agroquímico sobre as folhas da planta, isto garante uma eficácia biológica do tratamento satisfatória, uma melhora na qualidade do fruto e, ao mesmo tempo, uma redução dos custos de produção. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um protótipo de barrapulverizadora vertical com um sistema de controle da distância da aplicação, composto por dois sistemas de controle em série, um que movimenta os bicos com base nas informações fornecidas por sensores de ultrassom e outro que movimenta a barra em função das posições dos bicos móveis. A avaliação do protótipo foi realizada a partir do índice de desempenho ISE. Os resultados indicam que o sistema reduziu os valores de erro de posicionamento dos bicos, isto é, os valores de distância de aplicação foram próximos ao *set point*. Comparando os valores de ISE obtidos com e sem habilitar o controle, se observou uma melhora de até 75%. Espera-se que com a implementação do sistema controle da distância seja possível melhorar a qualidade distribuição da calda pulverizada sobre a superfície das folhas da planta.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade da aplicação, controle, equipamento de pulverização

VERTICAL BOOM SPRAYER WITH DISTANCE CONTROL FOR EACH NOZZLE

ABSTRACT: The distance between the nozzle and the plant influences the sprayed agrochemical distribution over the leaves, keeping it within determined values during spraying allows to obtain an optimal agrochemical distribution over the plant leaves, this guarantees a treatment's satisfactory biological efficacy and an improvement on the fruit quality and at the same time, a reduction of the production costs. This work describes the general functioning of a vertical boom sprayer prototype with a spray distance control system formed by two series control systems, one that moves each nozzle based on ultrasonic sensors and another that moves the boom based on the position of each nozzle. Prototype evaluation was done from the ISE performance index. Results shows that the systems allowed to reach spraying distance values near to the pre-established set point, comparing the obtained ISE values by enabling and disabling the control, there were found improvements up to 75%. It is expected that the spraying distance control implementation leads to an improvement on the agrochemical distribution over the leaves surface.

KEYWORDS: spray quality, control, spraying equipment

INTRODUÇÃO: Uma distribuição de agroquímico sobre a superfície foliar, inferior à requerida, implica em uma redução na eficácia biológica do tratamento (NUYTENS et al., 2004) e na qualidade do fruto (MALNERSIC et al., 2016). Por outro lado, uma distribuição

superior à requerida pode provocar desperdício do agroquímico e problemas de poluição do ar, água e solo (SALYANI et al., 2007). Existe uma relação direta entre a distância de aplicação (entre o bico pulverizador e o alvo) e a qualidade da distribuição da calda pulverizada sobre a superfície foliar, como demonstrado por Mahalinga e Wills (1978) e Nuytens et al. (2004). Estes autores determinaram uma distância de aplicação (DA) que permite se obter uma ótima distribuição da calda pulverizada, de acordo com as condições de operação do bico utilizado. Visando manter constante a DA e obter uma ótima distribuição do produto sobre a superfície foliar, o presente trabalho objetiva o desenvolvimento de um protótipo de uma barra pulverizadora vertical que ajusta a posição de cada bico (de maneira independente)me da barra, a partir de uma estratégia de controle em malha fechada e em cascata, baseada em sensores de distância de ultrassom.

MATERIAL E MÉTODOS: O protótipo foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle da FEAGRI - UNICAMP. É formado por 4 bicos pulverizadores que possuem um grau de liberdade, montados sobre uma barra vertical móvel que se desloca sobre uma estrutura fixa (FIGURA 1). A estratégia de controle conta com dois níveis de atuação, um que ajusta a posição de cada bico, individualmente, com base nas leituras de distância dos sensores de ultrassom, e outro que ajusta a posição da barra móvel que se move em função da posição relativa dos 4 bicos e da barra móvel. O algoritmo de controle foi embarcado em um dispositivo myRIO-1900 da *National Instruments*. Nos dois níveis, foram implementados controladores tipo ON/OFF com zona morta de 10 mm em torno ao valor de referência. Foram utilizados sensores de ultrassom digitais HC-SR04, com frequência de amostragem de 8,33 Hz. O sinal foi filtrado por um filtro de mediana, que atuou a partir das 5 últimas medições registradas.

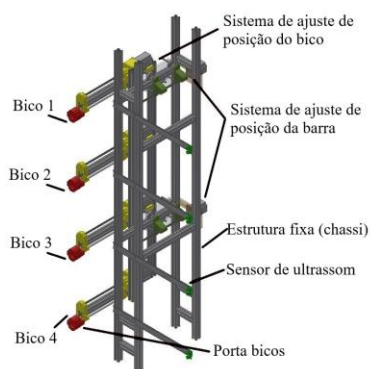


FIGURA 1. Desenho tridimensional do protótipo construído.

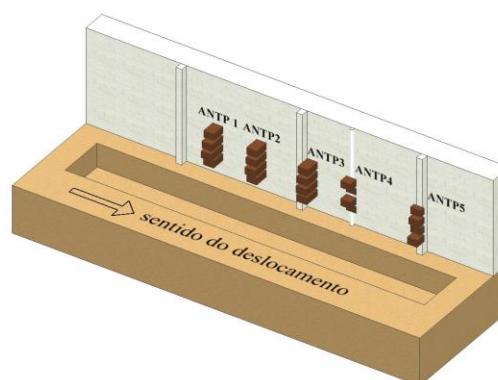


FIGURA 2. Desenho tridimensional do local dos testes

Para avaliar o equipamento, foi montado um aparato experimental no Laboratório de Protótipos da FEAGRI. O equipamento foi fixado em um pórtico móvel que se deslocava a uma velocidade de 1 m s^{-1} . Para simular as plantas, foram colocados 5 anteparos (ANTP) formados por 4 alvos, cada um (FIGURA 2). Os alvos modificaram as leituras dos sensores e, conseqüentemente, o ajuste de posição dos bicos e da barra. O *set point* de distância de aplicação foi fixado em 0,35 m. O sistema de controle da posição do bico interrompe a atuação quando o protótipo está passando entre os anteparos (zonas sem atuação), isto é, quando a leitura do sensor supera os 1,25 m. Foram realizadas 3 passagens do protótipo, armazenando os valores de erro, DA, leitura do sensor e posições dos bicos e da barra, à uma frequência aproximada de 42,3 Hz, com esta informação. As distâncias entre os alvos e o receptor dos sensores foi medida manualmente para validação das leituras dos sensores.

TABELA1. Distâncias medidas desde o alvo até o receptor do sensor de ultrassom.

	Anteparo 1(m)	Anteparo 2(m)	Anteparo 3(m)	Anteparo 4(m)	Anteparo 5(m)
Alvo 1	0,58	0,64	0,66	0,79	0,79
Alvo 2	0,71	0,56	0,67	1,15	0,69
Alvo 3	0,55	0,62	0,72	0,79	0,82
Alvo 4	0,73	0,6	0,58	1,15	0,63

A partir dos valores apresentados na TABELA 1, a velocidade de deslocamento, e a frequência de amostragem foi possível calcular o valor do erro quadrático integrado (ISE) para uma passagem sem o controle habilitado. Este valor foi comparado com o ISE médio das 3 passagens realizadas com o controle habilitado, isto permitiu avaliar se houve diminuição no erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na TABELA 2 são apresentados os valores de ISE obtidos. Se observou reduções importantes do ISE, de até 75%. Isto implicaria em uma distribuição uniforme de calda pulverizada sobre as folhas durante a aplicação.

TABELA 2. Valores de ISE obtidos para cada repetição, média das repetições e calculado para uma passagem sem o controle habilitado.

	Repetição 1 (m)	Repetição 2 (m)	Repetição 3 (m)	Média (m)	Sem Controle (m)
Bico1	0,019	0,024	0,022	0,022	0,070
Bico2	0,230	0,270	0,210	0,237	0,430
Bico3	0,050	0,010	0,010	0,023	0,100
Bico4	0,190	0,170	0,150	0,170	0,440

Analisando o comportamento da DA durante a primeira repetição (FIGURA 3) se observou que nos anteparos 3 e 5, para os bicos 1 e 4, o valor de DA se manteve mais distante do *set point*, que pode ser explicado ao analisar as posições dos bicos e da barra pulverizadora (FIGURA 4). Quando o protótipo passou frente ao anteparo 3, os bicos recuaram (como era esperado), mas a barra avançou para equilibrar os bicos 1 e 2, dessa forma se reduziu a velocidade do ajuste e o desempenho do protótipo. Um caso similar pôde ser observado no anteparo 5, com os bicos 2 e 4. Para evitar isto, foi preciso restringir a atuação do sistema de ajuste da barra aos casos que todos os bicos precisassem avançar ou recuar simultaneamente.

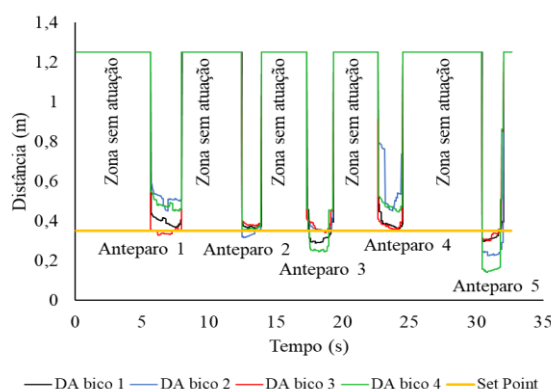


FIGURA 3. Distância de aplicação para primeira repetição realizada.

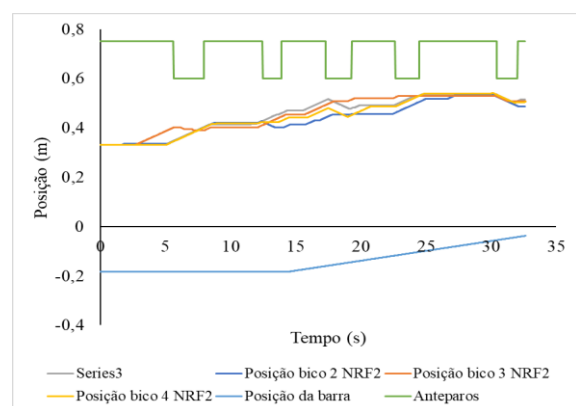


FIGURA 4. Posições dos bicos e da barra para primeira repetição realizada.

Na FIGURA 4, observou-se que houve atuação quando o protótipo passou na zona anterior ao primeiro anteparo e entre os anteparos 2 e 3, isto indica que foram identificadas descontinuidades próximas a 1,25m na leitura informada pelo sensor, levando os atuadores a modificar a posição dos bicos ante um distúrbio inexistente. Nas pesquisas em que se ajusta a posição do equipamento de pulverização para acomodar-se à configuração do dossel da árvore, são utilizados sensores de ultrassom analógicos realizando medições sobre a superfície da árvore (MIRANDA-FUENTES et al., 2017 e MOLTÓ et al., 2000). Na pesquisa desenvolvida por Miranda-Fuentes et al., 2017, os autores trabalharam com frequências de amostragem entre 1 e 3 Hz o que significa que uma medida foi tomada a cada 0,5m, considerando uma velocidade de deslocamento de 1 ms^{-1} . Para o presente trabalho utilizou-se uma frequência de amostragem relativamente alta, tomando mostras a cada 0,12 m, portanto uma grande quantidade de dados foi gerada e isto dificultou a retirada de valores atípicos. A redução na frequência de amostragem poderia melhorar a qualidade do ajuste e impediria a atuação dos sistemas de ajuste de posição do bico entre anteparos, uma vez que os valores atípicos seriam filtrados com maior facilidade.

Na FIGURA 3, notou-se pequenas variações na distância de aplicação frente à cada anteparo, isto se deve à descontinuidades na leitura dos sensores causadas pelas irregularidades na superfície dos alvos, pela não perpendicularidade dos sensores sobre o protótipo e pelas vibrações do chassi geradas durante o deslocamento. A aparição dessas pequenas descontinuidades indica que houve uma filtragem insuficiente do sinal, porém a mesma técnica de filtragem foi usada com sucesso por Moltó et al. (2000), que realizaram medições da distância entre o equipamento e o alvo, apontando o sensor para a superfície irregular da árvore. Apesar dos bons resultados em medições sobre superfícies irregulares, é possível que este tipo de filtro não permita retirar as descontinuidades causadas por leves irregularidades sobre superfícies planas e pela vibração do equipamento durante o deslocamento.

CONCLUSÕES: O protótipo desenvolvido operando em conjunto com os sistemas de controle implementados permitiu reduzir, de maneira significativa, o erro da distância de aplicação, mantendo a posição dos bicos em valores próximos ao *set point*. Estes resultados podem implicar em uma melhora na qualidade da cobertura de calda pulverizada sobre as folhas da planta.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

- MAHALINGA, R.; & WILLS, B. M. D. Factors Determining the Design of Tractor-mounted Booms-Sprayer Nozzle Characteristics. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, p. 37–43, 1978.
- MALNERSIC, A. et al. Close-range air-assisted precision spot-spraying for robotic applications: Aerodynamics and spray coverage analysis. **Biosystems Engineering**, v. 146, p. 216–226, 2016.
- MIRANDA-FUENTES, A. et al. Improving plant protection product applications in traditional and intensive olive orchards through the development of new prototype air-assisted sprayers. **Crop Protection**, v. 94, p. 44–58, 2017.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; & GUTIÉRREZ, A. Design and Testing of an Automatic Machine for Spraying at a Constant Distance from the Tree Canopy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 77, n. 4, p. 379–384, 2000.
- NUYTENS, D.; WINDEY, S.; & SONCK, B. Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 4, p. 417–423, 2004.
- SALYANI, M.; FAROOQ, M.; & SWEEB, R. D. Spray deposition and mass balance in citrus orchard applications. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 6, p. 1963–1969, 2007.