

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EM BANCADA DE PINGENTES PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO EM PULVERIZADORES AUTOPROPELIDOS

MURILO HENRIQUE FERREIRA CORREA¹, MARCELO JOSÉ DA SILVA²

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Campus Avançado de Jandaia do Sul – PR, murilocorreaufpr@gmail.com.

² Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Avançado de Jandaia do Sul – PR.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: O progresso de novas tecnologias, voltadas para aplicação de fertilizantes líquidos é cada vez mais intensa, principalmente pela fácil absorção das plantas e menor impacto ambiental. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi desenvolver um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido em bancada e analisar suas características estáticas, baseadas em um equipamento autopropelido. Assim foram montados os pingentes e a bancada experimental, para simular uma seção de nove linhas da barra de um pulverizador com os pingentes para aplicação de fertilizante líquido. Os testes consistiram na coleta da água nas pontas de aplicação com provetas; cronometrando o tempo; anotando a velocidade e as pressões inicial e final. Deste modo, observou-se que a pressão do sistema e a vazão foram diretamente proporcionais à velocidade de deslocamento. Tais parâmetros foram crescentes até a velocidade de $6,5 \text{ m s}^{-1}$, após isso, ambas permaneceram constantes devido a limitação da capacidade da bomba de pulverização e dimensões dos componentes hidráulicos. Os menores coeficientes de variação da vazão de saída das pontas de aplicação foram obtidos entre as velocidades de 4 a $7,5 \text{ m s}^{-1}$, condição favorável a aplicação de fertilizante.

PALAVRAS-CHAVE: máquinas agrícolas, qualidade de operação, adubo líquido.

BENCH DEVELOPMENT AND VALIDATION OF PENDANTS FOR LIQUID FERTILIZER APPLICATION IN SELF-PROPELLED

ABSTRACT: The progress of new technologies, aimed at the application of liquids fertilizers is increasingly intense, mainly due to the easy absorption of plants and lower environmental impact. The objective of this work was to develop a device for the application of liquid fertilizer on a bench and to survey its static characteristics, based on a self-propelled equipment. The pendants and the experimental bench were assembled, to simulate a section of nine lines of the boom of a sprayer with the pendants for the application of fertilizer. The tests consisted of collecting the syrup from the application tips; timing the application; noting the speed and the initial and final pressures. Thus, it observed that the system pressure and the flow of the nozzles were directly proportional to the speed. These parameters were increased up to a speed of 6.5 m s^{-1} , after which both remained constant due to the limitation of the spraying pump capacity and dimensions of the hydraulic components. The lowest coefficients of variation were obtained between speeds from 4 to 7.5 m s^{-1} .

KEYWORDS: agricultural machinery, quality of operation, liquid fertilizer.

INTRODUÇÃO: A aplicação de fertilizantes líquidos é uma prática estratégica e promissora, tanto para a exploração do potencial de rendimento das culturas, quanto na obtenção de retornos econômicos das lavouras. A maioria dos solos tropicais e subtropicais brasileiros apresentam disponibilidade insuficiente de componentes químicos para atender a demanda das culturas brasileiras, visando à obtenção de elevados rendimentos (BRAGAGNOLO, 2010). O adubo líquido via solo tem perdas reduzidas devido à alta eficiência de aproveitamento pelas plantas, sendo um produto com maior sustentabilidade ao sistema agrícola (SOUZA et al., 2018). Entretanto, na maioria das lavouras brasileiras, a aplicação mecanizada de adubos, é realizada por distribuidores centrífugos de fertilizantes granulares. Tal operação pode depositar uma parcela do fertilizante sobre o dossel das plantas, causando fitotoxicidade nas folhas (BAIO et al., 2012). Além disso, a aplicação a lanço não concentra o fertilizante próximo à linha de cultivo e possui problemas com a distribuição não uniforme na lavoura, principalmente pela sobreposição das faixas de aplicação. Uma solução que pode melhorar a adubação nitrogenada de cobertura em lavouras de milho está na distribuição de fertilizante líquido em ambos os lados das linhas de cultivos, a partir de faixas paralelas. Nesse contexto, um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido foi desenvolvido para o acoplamento em equipamentos pulverizadores autopropelidos. A hipótese do trabalho é de que esse dispositivo melhore a qualidade da aplicação e a eficiência de utilização do fertilizante pelas plantas; ademais, otimize a produção agrícola através da realização de duas operações em uma única máquina. O objetivo desse trabalho foi realizar o desenvolvimento de um dispositivo para aplicação de fertilizante líquido em bancada e o levantamento de suas características estáticas, baseadas em um equipamento autopropelido.

MATERIAL E MÉTODOS: Os requisitos para a melhoria da operação de adubação nitrogenada de cobertura na lavoura de milho, foram: a aplicação viabilizada pelo equipamento de pulverização, a aplicação em faixa, o emprego de um produto líquido nitrogenado de fácil infiltração no solo e a distribuição do nutriente próximo dos dois lados das linhas de cultivo. Para contemplar os requisitos, a solução proposta foi uma ponta de aplicação para a distribuição de fertilizante líquido nitrogenado no milho, com jato dirigido em ambos os lados das linhas de plantio, garantindo que o fertilizante atinja as proximidades das raízes e facilitando o processo de absorção de nutrientes pelas plantas (Figura 1). O princípio da operação do sistema de aplicação de fertilizante líquido nitrogenado considera como estrutura um pulverizador, e consiste na conexão entre a barra do pulverizador, o porta-bicos, o pingente e a ponta de aplicação de fertilizante líquido. A ponta de aplicação é conectada ao pingente através de uma capa para bico de pulverização comum. Para tanto, na barra de pulverização é acoplado um pingente. O pingente possibilita uma aplicação com maior proximidade do solo, representando uma vantagem para o direcionamento do jato de fertilizante líquido. Na extremidade do pingente é colocada a ponta de aplicação. O conjunto (pingente e ponta de aplicação) é disposto no centro das entrelinhas da cultura de milho. A ponta de aplicação é dotada de dois orifícios de saída que desviam o fluido para próximo da base das plantas de milho. A ponta de aplicação fica a uma altura “H” do solo e faz com que o fertilizante líquido proveniente do pulverizador seja desviado a partir de dois orifícios. Os orifícios possuem uma angulação “ θ ” em relação a vertical, que depende da largura das entrelinhas da cultura. A angulação é necessária para que os jatos de fertilizante atinjam a distância de “ $(E/2) - 50 \text{ mm}$ ” da linha de plantio. O “E” é o espaçamento das entrelinhas da cultura e a subtração de 50 mm representa uma margem de erro, necessária para evitar possíveis alterações no direcionamento do jato, decorrentes de variações na máquina ou terreno. Além disso, a margem de erro também evita que o jato se direcione as folhas ou caule do milho, o que pode acarretar danos à cultura e perdas de produtividade.

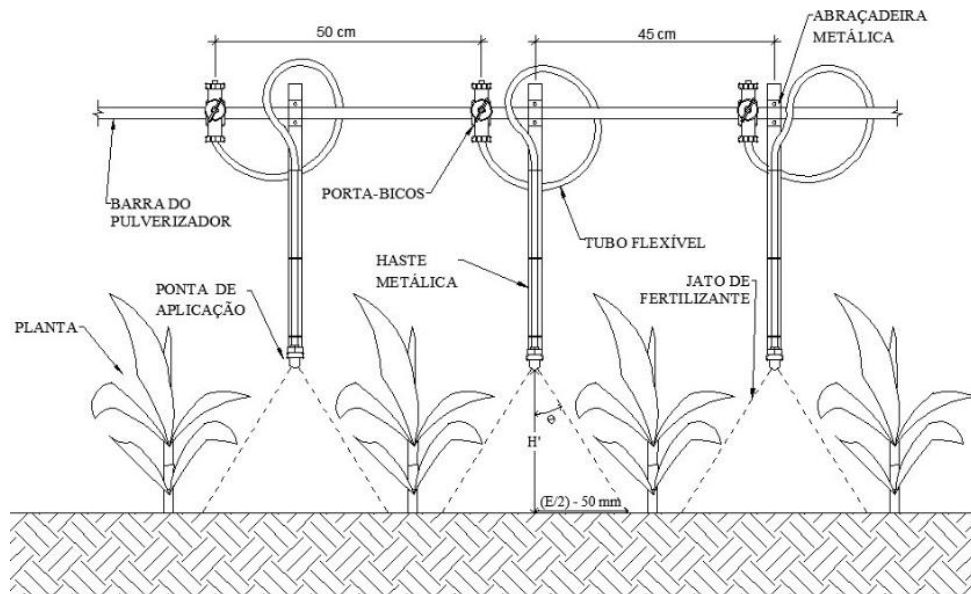


FIGURA 1. Esboço do sistema de aplicação de fertilizante líquido.

As medidas gerais da ponta de aplicação foram fundamentadas no porta-bicos, para que o sistema de aplicação seja adaptável ao sistema já utilizado e comercializado. A ponteira deve possuir um orifício de entrada com diâmetro de 6,35 mm e dois orifícios de saída. A modelagem e simulação foram feitas em ambiente SIMULINK[®], vinculado ao MATLAB[®] (MathWorks, R2012a, Natick, MA, USA). A análise da simulação orientou um dimensionamento com o orifício de saída de 1,50 mm (Figura 2). Os orifícios de saída são opostos e possuem uma angulação de 30° em relação a vertical. A angulação é necessária para que o jato sólido atinja o solo a uma distância de 50 mm da linha de plantio. O diâmetro total “D”, o diâmetro do corpo da ponta de aplicação “d”, a altura total “H” e a altura necessária para ser encaixada na capa para bico de pulverização “h” podem variar de acordo com as dimensões do pingente.

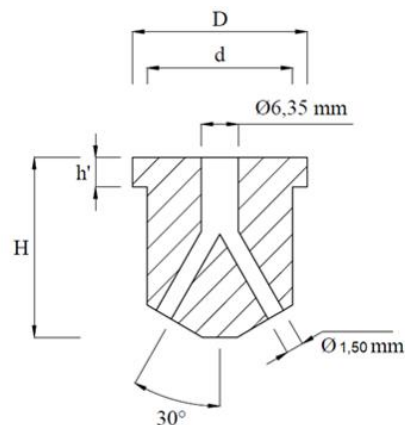


FIGURA 2. Detalhes da ponta de aplicação de fertilizante líquido. A. Ponta de aplicação fabricada em impressora 3D. B. Corte detalhado da peça.

A ponta de aplicação foi desenhada no CAD Inventor e confeccionada em impressora 3D. Posteriormente foi realizada a montagem dos pingentes (Figura 3). A montagem necessita de: tubulação com diâmetro de 5/16” e 1250 mm de comprimento (a); conexão espigão de 5/16” para rosca macho 1/4” (b); adaptador de rosca fêmea 1/4” para engate rápido (c); anel de vedação de borracha (d); ponta de aplicação de fertilizante líquido projetada (e); capa para bico de pulverização com engate rápido (f); abraçadeira (g); abraçadeira de Nylon (h) e haste metálica

com 500 mm de comprimento (i). A montagem consiste na união entre tubulação, espigão, adaptador, capa para bico e ponta de aplicação. O anel de vedação e a abraçadeira são utilizados para conter possíveis vazamentos. Após isso, o conjunto (tubulação e componentes) é fixado na chapa de aço com o auxílio da abraçadeira de Nylon com o objetivo de torná-los retilíneos para a aplicação de fertilizante líquido.

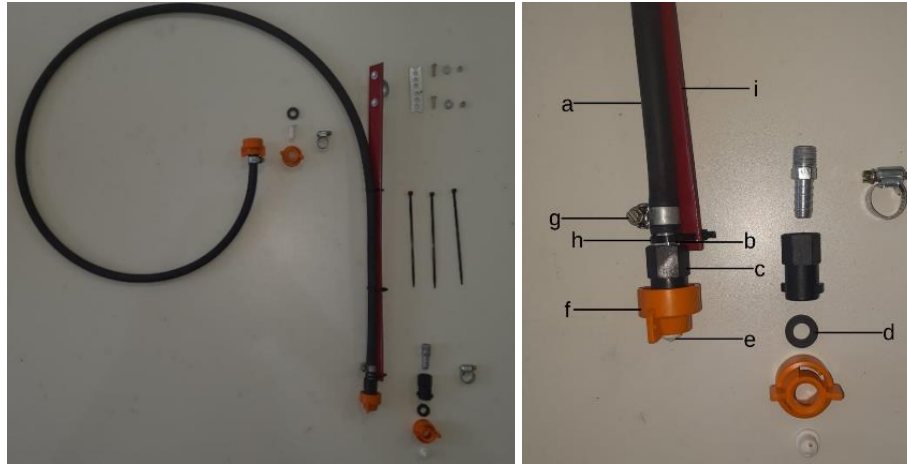


FIGURA 3. Montagem dos pingentes A. Componentes necessários para a montagem. B. Detalhe da montagem.

De modo padronizado em equipamentos pulverizadores, suas barras de aplicação são compostas por porta-bicos, nos quais possuem um sistema de engate rápido para a troca dos mais variados tipos de pontas de pulverização. Tendo em vista a praticidade do engate, uma “conexão espigão” foi confeccionada com a finalidade de efetuar a ligação entre o porta-bico e o tubo flexível do pingente. A conexão também foi desenhada em CAD Inventor e confeccionada em impressora 3D. O conector possui um orifício de entrada e um orifício saída com diâmetros de 6,35 mm. As demais medidas podem variar de acordo com a capa para bico e pingente utilizados. A conexão espigão é colocada no lugar do bico de pulverização do porta-bicos e a tubulação é encaixada na conexão. Um anel de vedação e abraçadeira também são utilizados para conter possíveis vazamentos (Figura 4-A). O conjunto (tubulação e componentes) é fixado na barra de pulverização do pulverizador através de uma fita de aço perfurada, parafusos, porcas e arruelas (Figura 4-B). Geralmente os porta-bicos são dispostos na barra de pulverização dos pulverizadores com um espaçamento de 35 ou 50 cm. O milho é semeado com espaçamento de 45 ou 90 cm, deste modo, a fixação na barra de pulverização com fita de aço perfurada permite disponibilizar o pingente na distância adequada para aplicação de fertilizante líquido na entrelinha da cultura. Com a tubulação conectada ao porta-bicos e o pingente acoplado a barra de pulverização, é possível utilizar o sistema de aplicação de fertilizante líquido nitrogenado em um pulverizador (Figura 4-C).



FIGURA 4. A. Componentes de ligação da barra de aplicação ao pingente. B. Componentes necessários para fixar o pingente na barra do pulverizador. C. Pingente para aplicação de fertilizante líquido.

Já a bancada experimental foi responsável pela simulação de uma seção com nove linhas da barra de um pulverizador (Figura 5). A montagem da bancada foi aplicada com: um reservatório de 200 litros (1); dois filtros na linha para proteção do sistema (2); uma motobomba “Lepono AJm45S” (3), que possui vazão de 10 a 40 l min⁻¹, pressão de 3,75 bar e acionamento monofásico; duas fontes chaveadas para estabilizar a alimentação do sistema (4, “FE”); dois manômetros para avaliação do diferencial de pressão (5); uma válvula de segurança manual (6); uma válvula reguladora elétrica (7); um fluxômetro (8); uma válvula de seção elétrica (9); um controlador de vazão BASIC 2000 “DRS Pulverizadores” (10); um sensor de rotação (11); uma seção da barra de um pulverizador com 9 linhas, os porta-bicos (12) e nove pingentes para aplicação de fertilizante líquido nitrogenado (13). As programações das taxas de aplicação e velocidade de operação simulada foram inseridas no controlador através do painel eletrônico. A partir da taxa de aplicação especificada e a velocidade de operação, o controlador atua na intensidade do sinal de abertura da válvula de controle eletrônico para a redução ou aumento da vazão. Na linha de fluxo, o fluxômetro mensura a vazão real através da seção de aplicação. Caso a vazão seja diferente da calculada, o controlador atua na válvula reguladora elétrica (abrindo ou fechando a válvula).

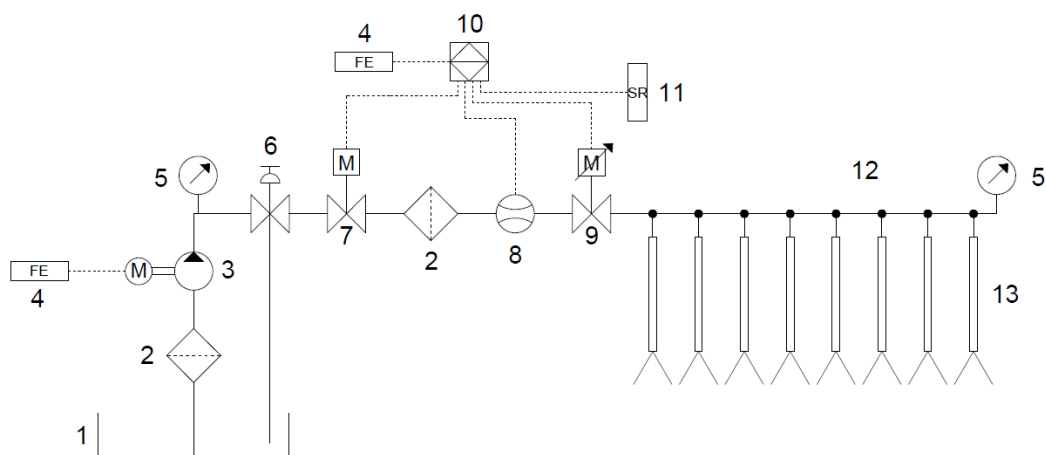


FIGURA 5. Layout do sistema hidráulico.

A análise da qualidade de operação foi realizada pela avaliação da velocidade de operação simulada, a pressão do sistema, a vazão nas pontas de aplicação e o coeficiente de variação da vazão entre as pontas de aplicação. Os testes na bancada (Figura 6) consistiram na coleta da

calda das nove linhas de aplicação utilizando-se de provetas (volume de aplicação); cronometrando o tempo (intervalo de aplicação) e anotando a velocidade indicada no painel eletrônico e as pressões indicadas nos manômetros inicial e final. A velocidade de operação inicial utilizada foi de 1 m s^{-1} e o processo se repetiu com o escalonamento de velocidade, utilizando-se 1,5; 2,0; 2,5; até $7,5 \text{ m s}^{-1}$. Nas velocidades de 2,0; 4,0 e $6,0 \text{ m s}^{-1}$ foram realizadas quatro coletas por ponta de aplicação, com o objetivo de analisar a uniformidade da distribuição de fertilizante ao longo da barra. Na análise, foi utilizado a abordagem de controle estatístico, por meio de cartas de controle (MONTGOMERY, 2009). Além do coeficiente de variação, o desvio médio (o erro na dosagem) também é um outro indicador para a qualidade da operação. Uma exatidão na aplicação do fertilizante propicia maior qualidade e uniformidade de operação, trazendo benefícios para as plantas em cultivo.



FIGURA 6. Coleta da calda na bancada experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos dados coletados na bancada experimental, pode-se observar que o aumento da velocidade de operação aumentou a vazão média da seção de nove linhas de aplicação e as pressões inicial e final do sistema (Figura 7). Tal resultado é consequência da taxa de aplicação constante. O controlador corrige a vazão instantaneamente ao analisar a velocidade de operação. Portanto, ao aumentar a velocidade, o controlador ajusta a vazão e consequentemente a pressão inicial para manter a taxa de aplicação especificada no painel eletrônico. A vazão média e as pressões foram crescentes até a velocidade de $6,5 \text{ m s}^{-1}$, após isso, ambas permaneceram constantes. Isso pode estar associado à limitação da capacidade da bomba de pulverização e dimensional dos componentes hidráulicos.

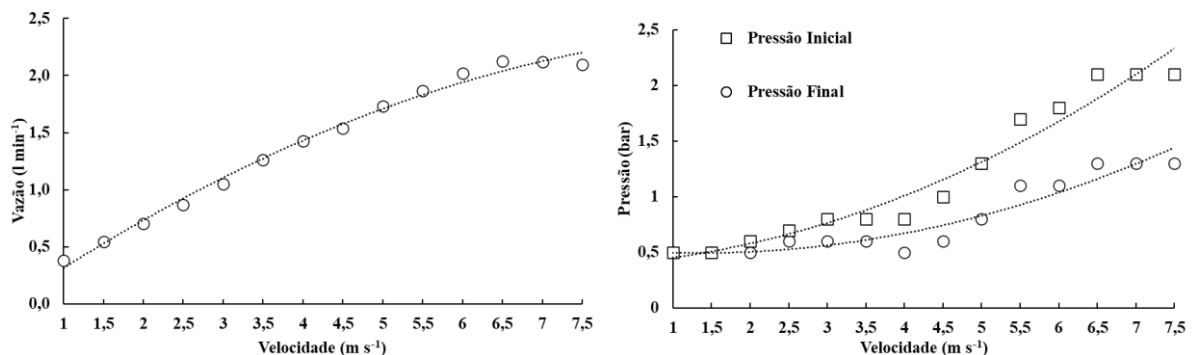


FIGURA 7. Escalonamento de velocidade. A. Vazão média da seção de aplicação. B. Pressões inicial e final.

O coeficiente de variação da vazão de saída entre as pontas de aplicação diminuiu com o aumento de velocidade (Figura 8). O resultado pode estar relacionado ao aumento do nível da

pressão inicial, possibilitando maior uniformidade na aplicação. As velocidades de 4,5 e 5,0 m s⁻¹ apresentaram o menor coeficiente, um valor de 7,2%. Neste nível de velocidade (4,0 a 7,5 m s⁻¹), o coeficiente de variação se manteve em valores menores de 10,3%. Em geral, um menor coeficiente de variação representa uma melhor qualidade para a operação. Os coeficientes de variação menores que 10% são classificados como baixos, de 10 a 20% medianos, 20 a 30% elevados e maiores que 30%, muito elevados (GOMES, 1990).

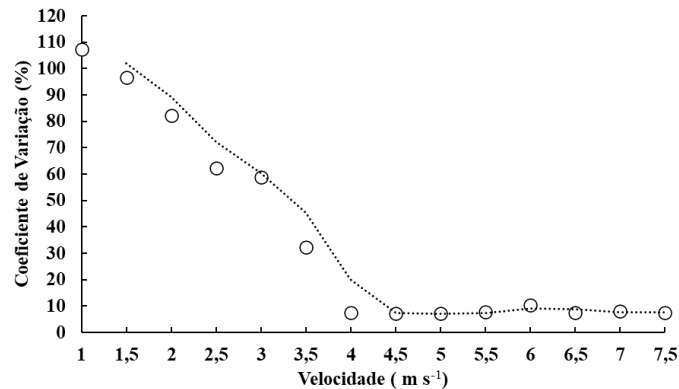
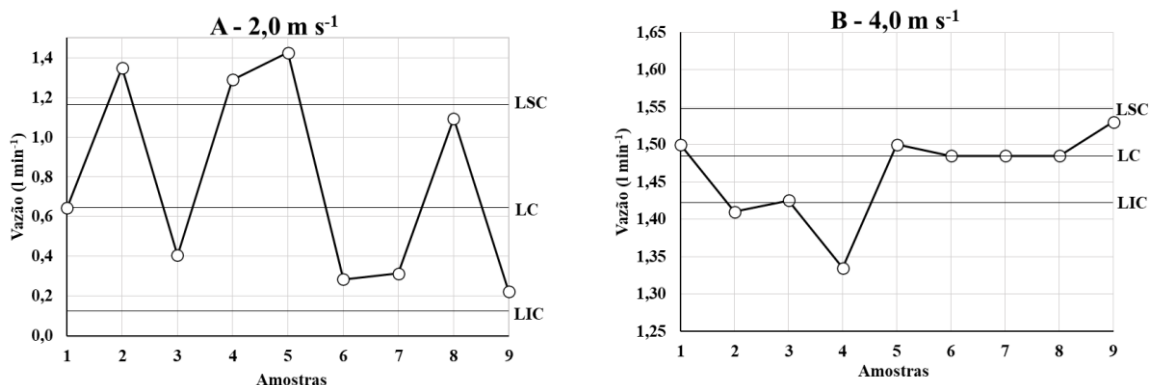


FIGURA 8. Coeficiente de variação através da seção de aplicação.

Os limites de controle foram calculados para mostrar a extensão na qual as médias e amplitudes variaram. Entre os pingentes avaliados, nas velocidades de 2,0; 4,0 e 6,0 m s⁻¹; as vazões médias foram de 0,65; 1,49 e 2,07 l min⁻¹, respectivamente (Figura 9). Na velocidade de 2,0 m s⁻¹, 33,3% dos valores amostrais ficaram fora dos limites superior ou inferior de qualidade. Isso pode estar associado ao menor nível de pressão, causando desuniformidade na barra de aplicação. Por outro lado, nas velocidades de 4,0 e 6,0 m s⁻¹, 22,2% dos valores ficaram fora dos limites de controle. Mesmo assim, os resultados foram considerados satisfatórios. Nessas duas velocidades de operação, o coeficiente de variação foi baixo (menor que 10%). A faixa de velocidade que proporciona um melhor rendimento operacional na distribuição de fertilizantes com autopropelido está entre 5,6 e 6,7 m s⁻¹ (SANTOS, 2022). Sendo assim, ao levar em consideração os limites do coeficiente de variação das pontas de aplicação e a capacidade operacional, a faixa de velocidade ideal seria de 5,6 a 6,7 m s⁻¹, pois a capacidade operacional está contida exatamente dentro da menor faixa do coeficiente de variação.



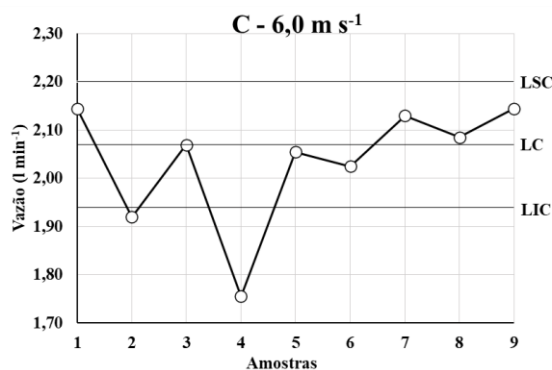


FIGURA 9. Vazão nas pontas de aplicação. A. Velocidade de 2,0 m s⁻¹. B. Velocidade de 4,0 m s⁻¹. C. Velocidade de 6,0 m s⁻¹.

CONCLUSÕES: A vazão média da seção de aplicação e as pressões inicial e final aumentaram com o escalonamento da velocidade de operação. O coeficiente de variação da vazão de saída das pontas de aplicação diminuiu com o aumento de velocidade. As velocidades superiores a 4,0 m s⁻¹ apresentaram um coeficiente de variação baixo (menor que 10%), condição favorável à aplicação de fertilizante com um pulverizador autopropelido.

AGRADECIMENTOS: à Universidade Federal do Paraná – UFPR, pela concessão da bolsa e apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS:

BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos em culturas anuais. *Biosci. J*, v. 28, n. Uberlândia, p. 527–536, 2012.

BRAGAGNOLO, J. **Adubação nitrogenada à taxa variada com o n-sensor nas culturas do milho e trigo**. 2010. 110f. Tese (Mestrado) – Curso de Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5516/BRAGAGNOLO%20JARDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 de mai. 2023.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004. 513 p. 4a ed. Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, A. R. **Análise do rendimento e consumo do distribuidor autopropelido de fertilizantes**. UFMA – Engenharia agrícola. p. 10–25, 2022.

SOUZA, R. F.; S. J., C. L. **Avaliação de produtividade de milho com adubação convencional e líquida**. p 3 – 8, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.fucamp.com.br/jspui/handle/FUCAMP/325>>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.