

AJUSTE AUTOMÁTICO DA ALTURA DAS BARRAS DE PULVERIZADORES AGRÍCOLAS

PALINSKI, Marlon¹

TRAIANO, Denner²

RESUMO: Este trabalho foca na construção de um protótipo de um driver automático de altura de barras de explosão para o pulverizador agrícola Advance 2000 AM18. O equipamento possui um controle eletro-hidráulico nas configurações originais de fábrica, que permite operações manuais com botões simplificados de subida e descida. O transporte deve registrar a distância entre a barra e a superfície de rodagem, avaliá-la e transmitir comandos de ajuste para um atuador. obtido através de dois sensores ultrassônicos, que foram colocados em duas posições diferentes ao longo da barra. O microcontrolador ATmega2560, integrado no kit de desenvolvimento Arduino MEGA, é utilizado para o processamento de dados. As barras movimentadas por pistões hidráulicos profissionais através de oito solenoides acoplados, controlados a partir de um módulo de relé. A configuração do controle implementado é um controle de janela tripla ON-OFF em circuito fechado. A eficácia do método proposto foi testada em ensaios, realizados em um campo de aveia com uma altura vegetativa média de 40 cm, demonstrando respostas rápidas, estabilidade e controle. Como trabalho prospectivo, sugere-se adicionar mais sensores por barra para que o sistema possa ser redundante e robusto. Concluímos que o sistema é viável e pode ser implementado com facilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Pulverizador; Controle; Solenoides; Sensor Ultrassônico.

ABSTRACT: This work focuses on the development of a prototype for an automatic boom height control driver for the Advance 2000 AM18 agricultural sprayer. The original factory configuration of the equipment includes an electro-hydraulic control system that allows manual operation through simple up and down buttons. The system must measure the distance between the boom and the ground surface, evaluate it, and send adjustment commands to an actuator. This was achieved using two ultrasonic sensors positioned at different points along the boom. The ATmega2560 microcontroller, integrated into the Arduino MEGA development kit, was used for data processing. The booms are moved by professional hydraulic pistons through eight coupled solenoids, which are controlled by a relay module. The implemented control configuration is a closed-loop triple-window ON-OFF control system. The effectiveness of the proposed method was tested in field trials conducted in a soybean crop with an average vegetative height of 40 cm, demonstrating fast response, stability, and accurate control. As a prospective improvement, it is suggested to add more sensors per boom to enhance redundancy and robustness. We conclude that the system is feasible and can be implemented with ease.

Keywords: Sprayer; Control; Solenoids; Ultrasonic sensor.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real. engm-marlonpalinski@camporeal.edu.br

² Especialista em Engenharia Gerenciamento e Controle de Manutenção. Mestre em Engenharia Mecânica. Professor no Centro Universitário do campo Real. prof_dennertraiano@camporeal.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das profissões mais antigas, que evoluiu dinamicamente ao longo dos séculos, principalmente com a ajuda da inovação tecnológica (PASCHOAL, 2024). Das formas simples de arar o campo até o arado mecanizado de hoje, a indústria agrícola percorreu um longo caminho, integrando inovação tecnológica para transferência de melhor produtividade, controle e sustentabilidade. Esses avanços resultaram não apenas no aumento da capacidade de produção de alimentos, mas também em melhorias na qualidade dos produtos e na diminuição das perdas ao longo da cadeia produtiva (EMBRAPA, 2022).

A incorporação de tecnologias no domínio agrícola é imperativa para tornar os processos produtivos mais eficazes, e assim, atender à crescente demanda mundial por alimentos em meio à explosão populacional e às mudanças climáticas (JOBIM, 2017). Dessa forma, a atualização não é apenas tecnológica e também envolve mudanças em procedimentos que incluem, entre outros, a mecanização de culturas, a aplicação de sensores, sistemas de controle e automação (SOUSSI, 2024).

Entre as tecnologias, destacam-se a aplicação adequada de pesticidas agrícolas e seu uso racional, bem como a redução gradual da tecnologia de aplicação. E assim são sistemas que visam melhorar o uso de insumos, menor impacto ambiental, maior segurança para trabalhadores rurais e consumidores finais (QUEIROZ, 2020).

Segundo a EMBRAPA (2022), a tecnologia para se relacionar com a aplicação de agroquímicos é atingir precisamente os alvos desejados, na dosagem certa, com pouco ou nenhum desperdício. Suas ferramentas de trabalho são pulverizações manuais, aéreas e montadas em tratores, como tanques, bombas e bicos de pulverização. Essas e outras tecnologias estão avançando em direção à melhor eficiência, economia e compatibilidade ambiental (CONTIERO, 2018; CUNHA, 2023).

As técnicas de distribuição são divididas na agricultura de acordo com as dimensões da propriedade, tipo de cultura, área ou preferência do agricultor. A seleção correta do método afeta diretamente tanto a rentabilidade da aplicação

quanto a estabilidade da prática agrícola. As pulverizações foliares aplicadas em campo são descritas nas seguintes componentes.

Além disso, a falta de eficiência no controle de elevação da barra de energia é o elemento mais importante que afeta diretamente a qualidade da aplicação do pesticida agrícola (KLEMBA, 2022). A falta de regulação específica da altura em relação ao alvo pode causar deriva química, falta de cobertura uniforme e até danos à maquinaria e à cultura cultivada (NEAAGRI, 2024). Esses aspectos afetam diretamente a eficiência da aplicação, o que prejudica o controle fitossanitário e pode levar a áreas possuindo overdose dentro do local de plantação (EMBRAPA, 2022).

Existem diferentes versões para cada modelo de pulverização agrícola e comando de barra, dependendo do custo e do nível de complexidade de operação necessária. A escolha do sistema de controle afeta diretamente a eficácia da aplicação e a facilidade de uso para o operador (VELLOSO; GASSEN; JACOBSEN, 1984). Cordas e manivelas são um tipo de operação manual, de um sistema encontrado principalmente em dispositivos de controle básico ou em equipamentos mais antigos de tamanho reduzido (ALVARENGA, 2009).

A ausência de um sistema automático para controlar a altura de uma barra faz com que o operador tenha uma atenção contínua. Esse requisito exige que o operador tenha um alto nível de concentração e habilidade durante a operação, especialmente em ciclos longos ou em condições de campo desfavoráveis, aumentando a probabilidade de um erro operacional (MATUO; 1990). Terrenos irregulares, diferentes velocidades de deslocamento e diversos obstáculos no campo dificultam um controle manual eficaz.

Essas operações deficientes resultam em perdas econômicas e ecológicas. Do ponto de vista econômico, o uso inadequado de pesticidas causa desperdício de insumos e aplicações extras, bem como perdas de culturas. Ecologicamente, o solo, a água e as áreas não alvo são mais propensos a serem contaminados. Considerando este fato, o uso de sistemas automáticos de controle de altura é uma opção estratégica viável para atender aplicações mais uniformes, seguras e sustentáveis, que estão alinhadas com os princípios da agricultura de precisão (ARAÚJO, 2019).

Dentro dos controles autônomos de distância, se faz necessário a utilização de sensores de distância para o controle efetivo da altura relativa da barra em relação a cultura aplicada, assim surgem sensores do tipo, A laser, ultrassônico, câmeras etc.

O objetivo geral do presente trabalho é projetar um sistema inteligente para ajustar a altura das barras de operação para maquinaria agrícola com base em componentes eletrônicos de baixo custo e soluções disponíveis, melhorando a eficiência e reduzindo erros causados pelas operações humanas de pulverização. O sistema também é projetado para fácil implementação em diversos tipos de máquinas e também para operação em diferentes ambientes agrícolas.

Os objetivos específicos desse trabalho são, desenvolver uma arquitetura estrutural do sistema de controle de altura da barra de pulverização agrícola levando em conta aspectos técnicos e operacionais, desenvolver um modelo funcional do sistema planejado contendo sensores, atuadores e um sistema de controle, utilizar um software controlador com capacidade de ajustar automaticamente sua altura de acordo com as leituras dos sensores e verificar o desempenho do sistema em condições laboratoriais, incluindo precisão, estabilidade e previsões.

Este projeto se justifica através da necessidade do ganho de precisão na aplicação de pesticidas agrícolas, sendo um fator estratégico para a sustentabilidade e produtividade dos agroecossistemas, notadamente para regiões tropicais onde as condições climáticas são mais propícias a doenças e agentes fitopatogênicos.

O funcionamento desse sistema está relacionado a eficácia, entre outras coisas, ao controle correto da altura da barra de aplicação, pois a variação excessiva implica cobertura não uniforme, maiores perdas e efeitos ambientais mais agudos. Conseqüentemente, automatizar um sistema de controle de altura constitui uma solução técnica com destaque para qual a aplicação de insumos torna-se mais precisa, os recursos utilizados mais racionais, a necessidade de ações humanas diminuídas, e o desempenho técnico e operacional mais exigente no que diz respeito à agricultura moderna.

2 METODOLOGIA

O presente resultado o aborda características metodológicas relacionadas a esse trabalho. Visando explorar o desenvolvimento de um sistema capaz de fazer o acionamento automático das barras do pulverizador, melhorando a eficiência da aplicação. Este projeto foi realizado de forma qualitativa e mostrará o funcionamento de alguns sistemas de pulverização.

2.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A Figura 1 mostra o posicionamento estratégico dos componentes do sistema. Os sensores ultrassônicos estão localizados na borda das barras de densidade, o que permite uma medição separada da distância do solo em cada lado. A altura da barra é ajustada hidráulicamente e se move de forma independente, tanto no lado esquerdo quanto no direito, para maior ajuste a diferentes ângulos.

Figura 1 - Demonstração do sistema automático de controle de altura das barras do pulverizador agrícola Advance 2000 AM18.



Fonte: Müller Elektronik (2020).

O microcontrolador e o módulo de relé são fixados à estrutura da pulverização e estão conectados a sensores e atuadores, o que possibilita o controle automático do sistema. A automação na aplicação através dos bicos de dispersão por aplicação controlada de gotas é essencial para garantir resultados e evitar falhas operacionais em pulverização (EMBRAPA, 2022).

2.2 PROCESSADORES

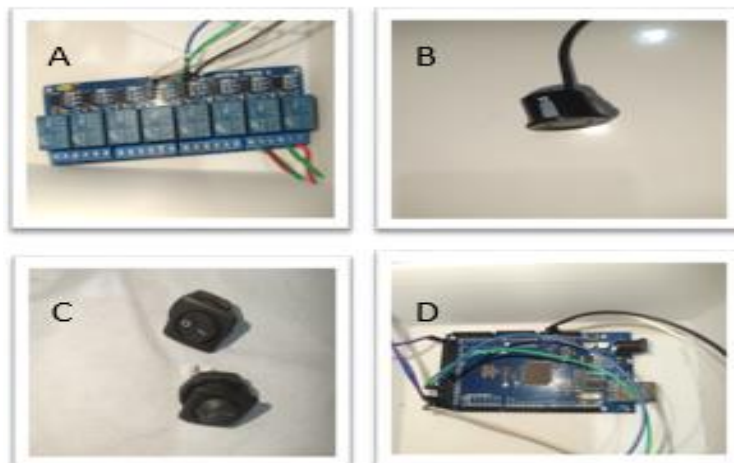
Processadores modernos estão disponíveis em um tamanho compacto, simples de manipular e programar, e com capacidade de processamento adequado para os projetos em desenvolvimento. O fato desses dispositivos também estarem disponíveis em kits de desenvolvimento, facilitam a prototipagem de sistemas embarcados, desta vez de maneira *just in time* e comercial.

Existem várias variantes do módulo com diferentes capacidades de memória, frequências de operação, quantidade de entradas e saídas, protocolos de comunicação, pode haver conversores A/D e D/A para se adequar a diferentes tipos de tarefas tecnológicas (NOERGAARD, 2008).

2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

O sistema utilizado nesse trabalho é um software para programação, utilizando o Arduino MEGA e módulos de acionamento associados (relés e atuadores hidráulicos) seriam então comandados. Dessa forma, simulação, teste e ajuste do protótipo. Na Figura 2 (A) estão as partes para produção do protótipo, e o modulo de relés utilizado para o acionamento, na Figura 2 (B), mostra o sensor ultrassônico utilizado para copiar o solo. E na Figura 2 (C), os botões liga desliga, utilizados para ligar o sistema, e na Figura 2 (D), o responsável por receber o código e fazer o acionamento dos outros componentes.

Figura 2 – Aparato experimental A) Relé B) Sensor C) botão D) Arduino.



Fonte: O autor (2025)

2.4 COMPONENTES

Esses são os componentes utilizados para fazer o funcionamento e também mostrando a instalação dos componentes utilizados e explicando como cada um funciona.

2.4.1 Sensor ultrassônico

O sensor ultrassônico AJ-SR04M é usado principalmente para automação embarcada e testes industriais em ambientes hostis, como um sensor ultrassônico à prova d'água (AJ-SR04M, 2025).

Ele funciona emitindo ondas sonoras de alta frequência ultrassônicas, as quais viajam para fora até encontrarem um objeto e são refletidas de volta para o sensor. Essa distância é obtida a partir do tempo entre a emissão e o retorno do sinal, fornecido com precisão precisa e em tempo real (KUSHWAHA, 2019).

As principais características técnicas do sensor AJ-SR04M são:

- Tensão de operação: 5 V DC;
- Corrente de operação: de 2,2 mA (em reparação) a 30 mA (em operação);
- Ângulo para detecção: 15° em cada lado;
- O intervalo de medição é de 20 cm a 600 cm;
- Precisão: desvio padrão de precisão comum inferior a ± 3 mm;
- Carcaça fechada (à prova d'água), pode ser usada em condições externas e agrícolas.

2.4.2 Módulo de relés

O módulo relé do protótipo foi utilizado para ligar as bobinas do solenoide, que movem a barra do pulverizador. Trata-se de um módulo digital de 8 canais com um relé e circuito de acionamento opto acoplado para cada canal, o que permite controlar aparelhos tanto de AC quanto de DC. Esta configuração permite o isolamento elétrico entre a carga e o sistema de controle para maior segurança na operação.

Os detalhes técnicos do módulo são os seguintes:

- Tipo: digital;
- Design: placa com 8 relés e circuito driver com optoacoplador;
- Sinal de controle com nível lógico TTL.
- Bobina operada a 5 VDC, 75 mA;
- Classificação do contato do relé: 12 A a 125 VAC ou 7 A a 250 VAC;
- A corrente que o nó pode sustentar é de 10 A, e sua capacidade direcionada é de 1 A;
- Tempo para atingir a atuação do contato: cerca de 10 ms.

2.4.3 Microcontrolador

O arduino Mega 2560 R3 Compatível é uma plataforma de prototipagem eletrônica que utiliza um microcontrolador ATmega2560. A placa possui 54 pinos de entrada/saída digitais 15 podem ser usados como saídas e 16 entradas analógicas (ARDUINO, 2010).

Está equipado com quatro interfaces UART para comunicação serial, uma porta USB, um soquete para fonte de alimentação externa, um conector ICSP, um botão de reset e indicador de luz de energia, tornando-se uma escolha ideal para projetos que ocorrem da capacidade de armazenar uma grande quantidade de conexões e dados.

2.5 INSTALAÇÃO

O sistema funciona com a baterias do trator, o que representa uma integração fácil e conveniente com as outras peças do trator. Uma conexão paralela ao sistema de controle manual foi exigida para minimizar o tempo de instalação e preservar a funcionalidade.

Para estabilizar os sensores, foram usadas braçadeiras de plástico. O local para montagem de um dos sensores está mostrado na Figura 3, na parte da ponta da barra esquerda do pulverizador, sendo o lugar mais provável de pegar no chão um local ideal para medir o nível.

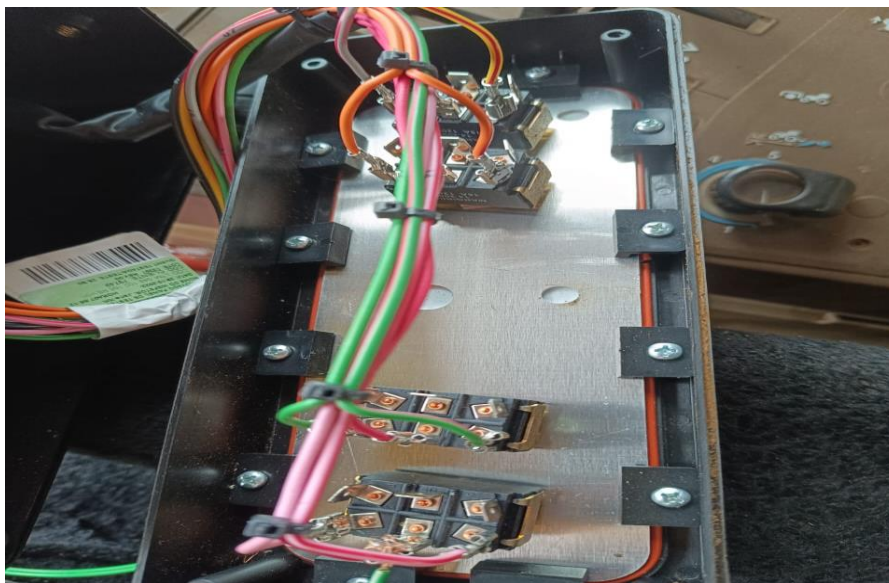
Figura 3 - Exemplo do Sensor ultrassônico instalado na estrutura da barra do pulverizador agrícola.



Fonte: O autor (2025)

A Figura 4 apresenta chaves do comando, é conectado em paralelo o módulo de relés para automatizar o funcionamento que aciona as válvulas solenoides.

Figura 4 – Conjunto de chaves de comando utilizado no sistema de controle automático de altura das barras.



Fonte: O autor (2025)

A Figura 5 apresenta as válvulas solenoides, responsáveis pelo acionamento que garantem uma resposta rápida, pois são eletromecânicos que controla os fluidos.

Figura 5 - Válvulas solenoides responsáveis pelo acionamento dos pistões hidráulicos que controlam o movimento das barras do pulverizador agrícola.



Fonte: O autor (2025)

2.6 PADRONIZAÇÃO DOS TESTES

Os testes de campo , sendo realizado em uma distância de 18 metro, para que fosse possível um desenvolvimento comparativo entre os grupos e também, a manutenção da segurança do equipamento. A altura de programação do sensor foi de 60 cm a 90 cm para que tenha uma margem para que o atuador consiga trabalhar corretamente.

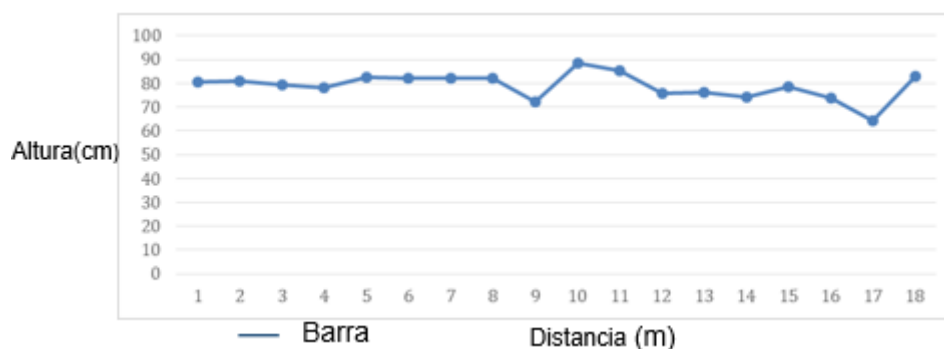
3 ANÁLISE E DISCUSÃO

Os resultados obtidos indicaram que o sistema de controle automático da altura da barra funcionou e foi estável. Os sensores ultrassônicos demonstraram alta precisão nas medições, e o sistema alterou a altura da barra em resposta a variações no terreno e manteve a cobertura de pulverização uniforme. Viabilidade, baixo custo e espaço para melhorias foram observados.

3.1 TESTE DO SENSOR

Foram feitos 4 teste, para analisar os dados e comparar. Na primeira etapa foi feito os testes de forma manual, sem qualquer tipo de alteração, afim de testar o funcionamento do sensor. O intervalo de tempo foi em 250 ms e a altura está em centímetros para a análise conforme o gráfico da Figura 6. O teste foi realizado em 18 metros para que seja possível uma comparação de segurança. Com intuito de avaliar a precisão e a estabilidade do sensor durante a integração ao sistema automático de controle de altura das barras do pulverizador.

Figura 6 - Gráfico obtido durante o teste manual do sensor ultrassônico, mostrando a variação da altura em função da distância.



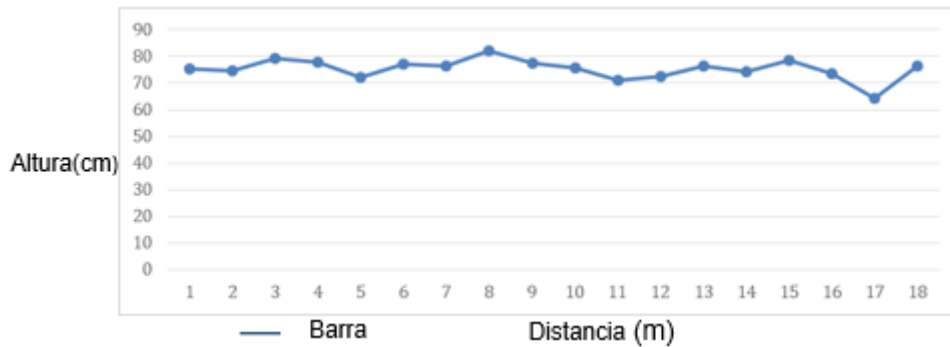
Fonte: O autor (2025)

Na Figura 6, sem o uso do sensor ele teve um pouco de instabilidade principalmente conforme as erosões surgem no terreno. Pode-se notar que aonde o terreno é mais plano ele tem uma estabilidade maior, enquanto em partes de erosão teve uma dificuldade de controle.

3.1.1 Teste do Atuador

Após o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um novo teste, a fim de testar a resposta da barra. O teste foi realizado na aveia em crescimento, com uma distância de teste a 18 metros para a realização com vários desníveis no terreno como mostra a figura 8.

Figura 7 – Gráfico do teste com sensor realizado após o desenvolvimento do sistema, em área de cultivo de aveia em crescimento.



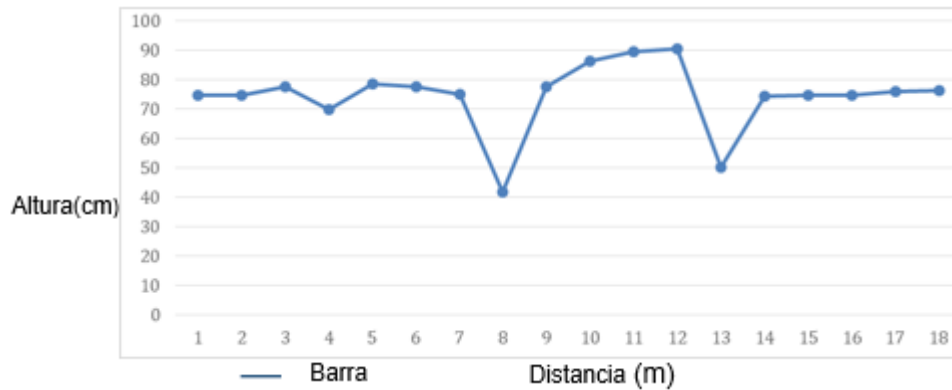
Fonte: O autor (2025)

Na Figura 7, com o uso do sensor podemos ver que ele conseguiu se manter mais estável, do começo ao fim sem grande variação assim mostrou que mesmo nas partes irregulares ele conseguiu se manter estável.

3.1.2 Teste do Controlador

O teste realizado na segunda etapa, teve como objetivo comparar o comportamento do atuador com e sem o sensor de altura. Para essa comparação, foi inserido um obstáculo a fim de verificar o tempo de resposta do sistema diante de irregularidades do terreno. O ensaio, cujo acionamento foi feito de forma manual (Figura 8), focou em observar o controle eletro-hidráulico original do pulverizador.

Figura 8 - Gráfico do teste com obstáculo realizado sem o uso do sensor ultrassônico, simulando o funcionamento manual do sistema.

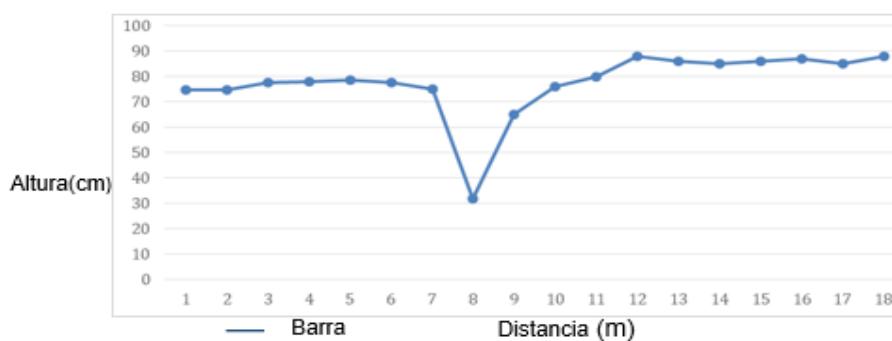


Fonte: O autor (2025)

A Figura 8 ilustra o teste com obstáculo realizado na condição sem o sensor, onde o atuador foi controlado manualmente. A ausência do controle automatizado resultou em uma maior variação da barra e demonstrou a dificuldade do controle manual em manter a estabilidade.

No terceiro teste, focou-se na avaliação do desempenho dinâmico do sistema com o uso do sensor. O objetivo era verificar o tempo de resposta do atuador nas manobras com o obstáculo, conforme o gráfico da Figura 9. Os resultados desse ensaio confirmam a eficácia do sensor, apresentando um tempo de resposta significativamente melhor.

Figura 9 - Teste com obstáculo realizado com o sensor ultrassônico ativo, demonstrando o ajuste automático da altura da barra do pulverizador diante de irregularidades no terreno.



Fonte: O autor (2025)

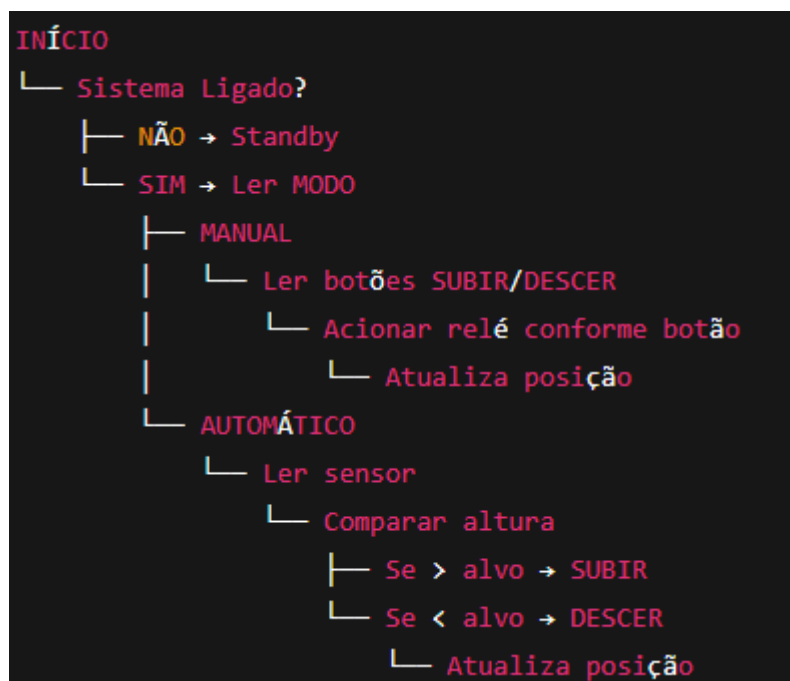
A Figura 9 confirma a eficiência do sistema de controle com sensor. Os dados demonstram que, mesmo diante de obstáculos, o atuador apresenta uma resposta rápida e mantém a barra na altura ideal com uma variação mínima, garantindo a estabilidade necessária para a aplicação.

3.1.3 Teste de campo final

O teste foi realizado com o comportamento de ativação das barras do sistema automático de altura, operando sob uma condição operacional típica simulada e concentração em aveia com altura média da vegetação de 30 cm. A primeira etapa desta abordagem foi o ajuste da rotação do motor, pois o fluxo da bomba hidráulica é diretamente acionado pelo motor, portanto o ajuste deste motor é altamente necessário para que o sistema de atuação funcione bem.

Os tempos de resposta do sistema foram calculados na dinâmica de subida e descida das barras. Mantendo a estabilidade e um limite de oscilação excessiva. A seleção foi baseada em observações e não pode ser monitorada remotamente, não podendo ser montada no spray em funcionamento. E toda a lógica do sistema de funcionamento na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma do sistema.



Fonte: O autor (2025)

3.2 CUSTO DO PROJETO

O projeto foi mantido com baixo custo, suas partes mais caras foram o kit de desenvolvimento Arduino (cerca de 140 reais). Os sensores ultrassônicos custaram 60 reais cada, enquanto o módulo de 8 relés custou 40 reais. Se somarmos todos os outros custos, como cabos, a própria caixa, conectores e grampos, foram gastos 450 reais. Incluindo um ferro de solda, uma furadeira e algumas chaves. Tais sensores custam cerca de 15 mil ou mais dependendo da cotação.

Figura 11- Comparação de preço.

| Item | Quantidade | Custo unitário (R\$) | Custo total (R\$) | Observações |
|--|------------|----------------------|-------------------|--|
| Kit de desenvolvimento Arduino | 1 | 140 | 140 | Base do projeto |
| Sensores ultrassônicos (baixo custo) | 2 | 60 | 120 | Sensores usados no projeto |
| Módulo de 8 relés | 1 | 40 | 40 | Controle de dispositivos |
| Cabos, conectores, caixa, grampos | - | - | 450 | Inclui também ferro de solda, furadeira e chaves |
| Total (baixo custo) | - | - | 750 | Soma de todos os itens |
| Sensores ultrassônicos industriais | 2 | 15.000 | 30.000 | Sensores de alta precisão e alcance |
| Economia aproximada usando sensores baratos | - | - | 29.250 | Comparação com sensores profissionais |

Fonte: O autor (2025)

3.3 SUJESTÕES DE APRIMORAMENTO

Embora o sistema apresentado funcione adequadamente, ainda existem possibilidades de aprimoramento. Em cada barra, novos testes de campo podem ser realizados para medir e adquirir diretamente os dados pelo microcontrolador. Recomenda-se a adição de sensores adicionais por barra, bem como a atualização dos sensores atuais para modelos protegidos contra umidade na zona ambiental. Propõe-se, ainda a construção de um circuito capaz de desativar o controle manual quando o modo automático estiver ativado além da adaptação do sistema para diferentes tipos de culturas e a implementação de um modulador de parâmetros para o driver da interface do dispositivo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho alcançou seu objetivo principal ao desenvolver, construir e testar um protótipo de driver automático de controle de altura para o pulverizador Advance 2000 AM18. A validação do sistema, que utiliza dois sensores ultrassônicos e o microcontrolador ATmega2560 com lógica de controle *ON-OFF*, foi realizada através de ensaios operacionais.

Os resultados iniciais, obtidos em um campo de aveia em crescimento, demonstraram a eficiência do controle automatizado em relação ao sistema manual. Notou-se que a ausência do sensor resultou em elevada variação da barra e dificuldade em mantê-la estável. Em contrapartida, o protótipo ativo demonstrou respostas dinâmicas rápidas e estabilidade na manutenção da altura alvo, minimizando desperdícios e garantindo uma aplicação mais precisa.

Embora o sistema se limite à lógica *ON-OFF* e o número de sensores não permita a detecção de falhas de plantio, a implementação do protótipo provou-se funcional e eficaz. O controle da altura da barra foi realizado com sucesso, permanecendo dentro da faixa estabelecida. Conclui-se que o sistema de ajuste automático da altura é viável, apresenta grande potencial para otimizar a qualidade da pulverização e pode ser implementado, validando a premissa deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, C. B. Avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia (MG). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2015.

ARAÚJO, Eduardo Cordeiro de. Considerações sobre deriva e outros fundamentos técnicos na aplicação aérea e terrestre de agrotóxicos. Versão 1.0, 27 nov. 2019. Documento técnico. Disponível em: <https://sindag.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Consideracoes-sobre-deriva-versao-1.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

AJ-SR04M. Arduino Distance Measuring Transducer Sensor – User Manual / Datasheet. Documentação técnica do fabricante. Disponível em: <https://www.fabian.com.mt/viewer/42585/pdf.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2025.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. Hortaliças-fruto. [S.l.]: EDUEM, 2018. p. 401–449.

CUNHA, F. F.; SILVA, R. L.; PEREIRA, J. A.; et al. Modelagem e simulação de sistemas eletro-hidráulicos em pulverizadores agrícolas. Computers and Electronics in Agriculture, v. 205, p. 107631, 2023.

EMBRAPA. Tecnologia de aplicação com defensivos agrícolas e pulverizadores de barra. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/846533/tecnologia-de-aplicacao-de-defensivos-agricolas-com-pulverizadores-de-barra>. Acesso em: 16 set. 2025.

JOBIM, L. S. Avaliação de diferentes técnicas de pulverização com base em agricultura de precisão. 2017. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KLEMBA, L. L. Controle automático da altura das barras de um pulverizador agrícola. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

KUSHWAHA, V.; BOJEWAR, S. A Survey of Ultrasonic Sensors and their Applications. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2019.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MÜELLERELEKTRONIK. ISOBUS SPRAYER-Controller. 2020. Disponível em: <https://mueller-elektronik.de/en/produkte/isobus-sprayer-controller-5/>. Acesso em: 19 nov. 2025.

NEAAGRI. Deriva e Faixa de Segurança na Pulverização Aeroagrícola. Brasília, DF: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2024. Disponível em: <https://sindag.org.br/wp-content/uploads/2024/11/Estudo-Neaagri.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

NOERGAARD, TAMMY. Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Newnes (Elsevier), 2005. 672 p.

PASCHOAL, A. D. História da agricultura – cinco séculos de agricultura no Brasil. 2024. Disponível em: <https://fealq.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Historia-da-Agricultura-Cinco-Seculos-de-Agricultura-no-Brasil-Digital-c.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

QUEIROZ, Daniel Marçal de et al. Sensors applied to digital agriculture: A review. Ciência Agronômica, v. 51, n. 5, 2020.

SISTEMA FAEP/SENAR-PR. Operação e manutenção de pulverizadores tratorizados de barras. Cartilha técnica. SENAR-PR; FAEP. 2019. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/05/PR.0343-Operacao-e-manutencao-de-pulverizadores-tratorizados-de-barras_web.pdf. Acesso em: 23 ago. 2025.

SOUSSI, Abdellatif et al. Smart sensors and smart data for precision agriculture: A review. Sensors (Basel, Switzerland), v. 24, n. 8, p. 2647, 2024.

VELLOSO, J. A. R. de O.; GASSEN, D. N.; JACOBSEN, L. A. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra. Passo Fundo: Embrapa CNPT, 1984. 50 p.