

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUCAS LASKAWSKI KLEMBA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DA ALTURA DAS BARRAS DE UM
PULVERIZADOR AGRÍCOLA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2020

LUCAS LASKAWSKI KLEMBA

CONTROLE AUTOMÁTICO DA ALTURA DAS BARRAS DE UM PULVERIZADOR AGRÍCOLA

Trabalho de conclusão de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Leandro Stebel

CURITIBA
2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

CONTROLE AUTOMÁTICO DA ALTURA DAS BARRAS DE UM PULVERIZADOR AGRÍCOLA

por

LUCAS LASKAWSKI KLEMBA

Esta monografia foi apresentada em 21 de Fevereiro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Sergio Leandro Stebel
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à Deus, à minha
família e a todos que colaboraram nesta
etapa.

RESUMO

KLEMBA, Lucas Laskawski. **Controle automático da altura das barras de um pulverizador agrícola**. 2020. 27 p. Trabalho de conclusão de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

O projeto consiste no desenvolvimento do protótipo de um controlador de altura para as barras do pulverizador agrícola *Advance 2000 AM18* da marca Jacto. O implemento original de fábrica tem um comando eletro-hidráulico das barras, e a atuação é manual a partir de chaves sobe-desce. O novo sistema desenvolvido, primeiramente, mede a distância da barra em relação ao solo, em seguida processa as informações e por fim atua na correção da altura. Foram utilizados 2 sensores ultrassônicos em diferentes pontos da barra. O processamento dos dados é realizado no microcontrolador ATmega2560 embarcado no kit de desenvolvimento Arduino MEGA. A movimentação das barras é realizada com pistões hidráulicos acionados por 8 solenóides, as quais, são comandadas através de um módulo de relés. O modelo de controle é em malha fechada. A lógica do controlador é ON-OFF de 3 janelas, a qual, foi desenvolvida de modo a reduzir a frequência de acionamento das bobinas solenóides, intencionalmente, aumenta a vida útil dos componentes. Foram realizados testes com o equipamento na cultura de soja com altura vegetativa de aproximadamente 40 cm. Os resultados demonstraram respostas rápidas, controladas e estáveis. Em trabalhos futuros, deve ser aumentada a quantidade de sensores por barra a fim de tornar o sistema redundante. De fato, comprovou-se que o sistema é viável e pode ser implementado.

Palavras-chave: Pulverizador. Controle. Solenóides. Sensor ultrassônico.

ABSTRACT

Klemba, Lucas Laskawski. **Automatic height control of the bars of an agricultural sprayer**. 2020. 27 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

The project consists in the development of the prototype of a height controller for the boom sprayer Advance 2000 AM18 of the Jacto brand. The original factory implement has an electro-hydraulic control of the boom, and the actuation is manual using the up and down keys. The new developed system, at first, measures the distance from the boom to the ground, then processes the information and finally acts on height correction. Two ultrasonic sensors were used at different points on the boom. Data processing is performed on the ATmega2560 microcontroller embedded in the Arduino MEGA development kit. The movement of the structure is commanded with hydraulic pistons driven by 8 solenoids, which are controlled through a relay module. The control model is closed loop. The controller logic is a 3-window ON-OFF, which, has been developed in order to reduce the frequency of activation of the solenoid coils, intentionally, increases the life time of the components. Tests were done with the equipment on soybean with vegetative height of approximately 40 cm. The results showed fast, controlled and stable responses. In future works, the number of sensors must be increased in order to make the system redundant. In fact, it has been proven that the system is viable and can be implemented.

Keywords: Sprayer. Control. Solenoids. Ultrasonic sensor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos autopropelidos de pulverizadores	12
Figura 2 – Elementos do sistema	16
Figura 3 – Diagrama de controle	18
Figura 4 – Sensor instalado.....	19
Figura 5 – Central do controle	20
Gráfico 1 – Teste do sensor	21
Gráfico 2 – Primeiro teste do atuador.....	22
Gráfico 3 – Segundo teste do atuador.....	22
Gráfico 4 – Teste do controlador	23

LISTA DE ABREVIATURAS

Laser	Light amplification by stimulated emission of radiation
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus

LISTA DE SÍMBOLOS

MHz	Frequência
VDC	Tensão elétrica
mA	Corrente elétrica
mm	Distancia em milímetros
cm	Distancia em centímetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	8
1.2 PROBLEMA	8
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.4 JUSTIFICATIVA	9
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO	11
2.2 COMANDOS DE BARRAS	13
2.3 SENSORES DE DISTÂNCIA	14
2.3.1 Sensor Ultrassônico	14
2.3.2 Sensor Laser	14
2.3.3 Câmeras	14
2.4 PROCESSADORES	15
3 DESENVOLVIMENTO	16
3.1 CONCEITO	16
3.2 COMPONENTES	16
3.2.1 Sensor Ultrassônico	16
3.2.2 Microcontrolador	17
3.2.3 Módulo de Relés	17
3.3 CONTROLE	18
3.3.1 Lógica de Controle	18
3.3.2 Tempo de Resposta	18
3.3.3 Janelas de Controle	18
3.4 INSTALAÇÃO	19
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
4.1 TESTES	21
4.1.1 Teste do Sensor	21
4.1.2 Teste do Atuador	21
4.1.3 Teste do Controlador	22
4.1.4 Teste Final em Campo	23
4.1.5 Custos do Projeto	23
4.2 PRÓXIMOS PASSOS	24
5 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A agricultura existe desde a antiguidade e evoluiu ao longo do tempo. A tecnologia invadiu os campos para facilitar a vida do agricultor, e cada vez mais, torna-se indispensável para que a população mundial possa ser alimentada. Entre as evoluções, está o uso de defensivos agrícolas e os sistemas de aplicação.

Segundo Bonfante (2009):

A tecnologia de aplicação de agroquímicos é o emprego de todos os conhecimentos que possam aplicar o produto no alvo desejado, na quantidade certa, com o mínimo de contaminação de outras áreas. Para tanto existem várias formas de se aplicar agroquímicos. Através de pulverizadores manuais, aviões agrícolas e pulverizadores tracionados por trator. O pulverizador possui reservatório de agroquímicos, sistema de bombeamento dos agroquímicos e sistema de distribuição composto por bicos distribuídos ao longo de duas barras, posicionadas uma a esquerda e outra à direita do pulverizador, que quando abertas para a aplicação, se encontram perpendiculares ao trajeto percorrido pelo pulverizador. O constate aumento nos custos dos produtos, de combustível e da contaminação das áreas, tem levado ao desenvolvimento de tecnologia para aplicação do produto químico de forma mais segura, bem como o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e de maior proteção ao operador.

1.2 PROBLEMA

Problemas relacionados à altura indevida da aplicação são comuns: deriva do produto, falhas de aplicação e até danos mecânicos no sistema e a vegetação. Consequentemente um controle de altura ineficaz gera perdas significativas para o agricultor. O controle de altura manual apresenta outro inconveniente, a alta demanda de atenção do aplicador, levando ao cansaço e a mais falhas.

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

1.3.1 Objetivo Geral

Projetar um sistema de controle de altura das barras para um pulverizador agrícola, utilizando componentes de baixo custo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso de especialização os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Projetar o sistema de controle de altura das barras para um pulverizador agrícola.
- Montar um protótipo do sistema de controle de altura das barras para um pulverizador agrícola.
- Implementar a lógica de controle de altura.
- Instalar o sistema no pulverizador.
- Testar o funcionamento do sistema.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de pulverização de modo geral estão presentes em todos os ramos da agricultura, pois eles trazem segurança para o agricultor, dando garantias de produção, inclusive qualidade dos produtos. Em ambientes tropicais, por exemplo, essa qualidade é afetada pois uma grande quantidade de fungos, insetos e pragas no ambiente podem afetar a produção e envolver milhões em prejuízo financeiro.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 5 (cinco) seções. Nesta primeira seção foi introduzido o assunto tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Já na segunda seção: “Fundamentação Teórica” sobre o projeto do sistema de controle da altura das barras para um pulverizador agrícola.

A seguir na terceira seção: “Desenvolvimento”, estão as fases de realização do projeto.

Na quarta seção: “Apresentação e Análise dos Resultados”, tendo como base os testes, estão descritos os resultados obtidos e feitas as devidas análises relacionados ao funcionamento do protótipo.

Por último na quinta seção: “Conclusão” e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO

Segundo publicação no blog do Grupo Jacto (JACTO, 2017):

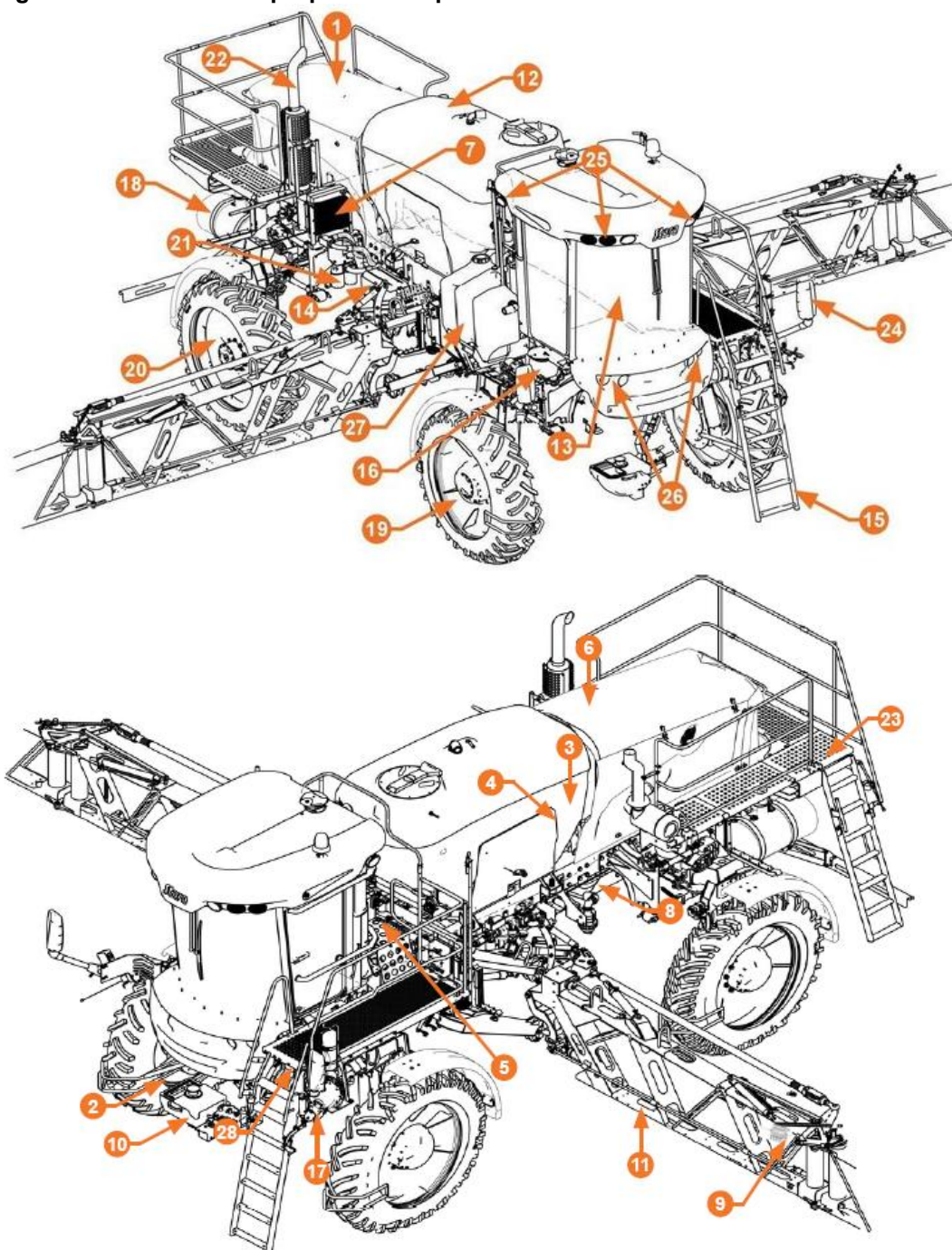
Pulverizar significa distribuir uma substância líquida em pequenas partículas. Em agricultura, a pulverização geralmente é utilizada para distribuir produtos agroquímicos, nutrientes ou fertilizantes de uma maneira geral. Ela pode ser feita por terra ou por via aérea, sendo essa última mais comum nas propriedades de grande extensão. De qualquer maneira, os pulverizadores são utilizados para garantir que o produto seja distribuído em quantidade correta e nos locais desejados. Além disso, os produtos geralmente são comprados concentrados e precisam ser diluídos em água. Essa mistura, chamada de calda, é distribuída sobre a lavoura com o auxílio justamente do pulverizador. Portanto, um pulverizador agrícola é um equipamento que auxilia no combate a pragas, doenças, insetos ou diversas outras ameaças. Ele também pode ajudar na distribuição de fertilizantes e, por isso, é uma das principais ferramentas de trabalho no campo.

Diversos métodos de pulverização são utilizados na agricultura, e podem variar dependendo do tamanho da propriedade, cultura, região ou preferência do agricultor. São eles os métodos de pulverização:

1. Pulverização por meio de equipamento costal.
2. Pulverização por meio de implemento de arrasto.
3. Pulverização por meio acoplado no terceiro ponto.
4. Pulverização por meio autopropelido.
5. Pulverização por meio de avião.
6. Pulverização por meio de drone.

Os modelos autopropelidos, mostrados na Figura 1, são os mais caros, robustos e completos.

Figura 1 – Modelos autopropelidos de pulverizadores



Fonte: STARA (2015).

Ainda na Figura 1, os modelos autopropelidos de pulverizadores tem os itens numerados e assim definidos:

1. Motor
2. Motor redutor de roda;
3. Bomba de tração;
4. Bomba tripla;
5. Reservatórios de óleo hidráulico;

6. Filtro da transmissão auto filtragem;
7. Refrigerador do sistema de transmissão e de trabalho;
8. Bomba de pulverização;
9. Válvula de seção;
10. Incorporador;
11. Barras de pulverização;
12. Reservatório de calda;
13. Cabine;
14. Bateria;
15. Escada;
16. Suspensão pneumática;
17. Engate reabastecimento;
18. Tanque diesel;
19. Rodado dianteiro;
20. Rodado traseiro;
21. Filtros de transmissão de sucção;
22. Escape;
23. Plataforma lateral;
24. Espelhos retrovisores;
25. Faróis cabine;
26. Faróis frontais;
27. Reservatório de água limpa;
28. Barrica de água limpa.

2.2 COMANDOS DE BARRAS

Os diversos modelos de pulverizadores possuem diferentes tipos de comandos das barras. Variam com o preço e com a necessidade de uso. São eles:

- a) Corda e manivelas;
- b) Sistema hidráulico;
- c) Sistema elétrico-hidráulico;
- d) Sistema pneumático;
- e) Sistema elétrico.

2.3 SENSORES DE DISTÂNCIA

Os sensores estão cada vez mais inovadores e presentes na automação e integração de processos. Esta tecnologia pode ser encontrada em: indústrias, drones, carros, estacionamentos, entre outros.

2.3.1 Sensor Ultrassônico

O Mecânica (2012) define sensor ultrassônico:

Um sensor ultrassônico é um dispositivo que utiliza alta frequência de som para medir a distância entre itens determinados. Estes sensores são também conhecidos como transceptores, e são capazes de operar semelhante ao sonar. Enquanto o sonar é principalmente utilizado debaixo da água, os transceptores de ultrassom podem ser utilizados no ambiente terrestre, tendo o ar como meio de transmissão. Os sensores de ondas ultrassônicas são comuns em aplicações industriais e médicas, além de outras aplicações.

2.3.2 Sensor Laser

Schoenknecht (2010), descreve o funcionamento do sensor laser:

O princípio de funcionamento é extremamente simples, consiste em e medir o tempo que um pulso de luz leva para viajar até um obstáculo e retornar ao equipamento. Já que a velocidade de propagação do pulso é conhecida, pode-se facilmente calcular a distância do equipamento até o objeto depois de adquirir e tempo de voo do pulso laser.

2.3.3 Câmeras

Mahammed, Melhum e Kochery (2013) apresentam que a “visão estéreo” pode ser considerada um método passivo de determinação da distância de objetos, pois não emite sinais, apenas recebe informações do meio analisado. Nesse método, são utilizadas duas câmeras com posições e parâmetros conhecidos, que captam imagens em perspectivas diferentes. Obtendo as coordenadas (x, y) da posição do ponto desejado nas imagens de ambas as câmeras, pelo cálculo simples de semelhança de triângulos é possível estimar a distância do objeto.

2.4 PROCESSADORES

Os processadores estão mais baratos, compactos, populares, são de fácil programação e tem capacidades de processamento de sobra para as principais exigências de projetos em desenvolvimento.

São fornecidos em *kits* de desenvolvimento e facilitam a prototipagem. Existem várias opções no mercado, com especificações de:

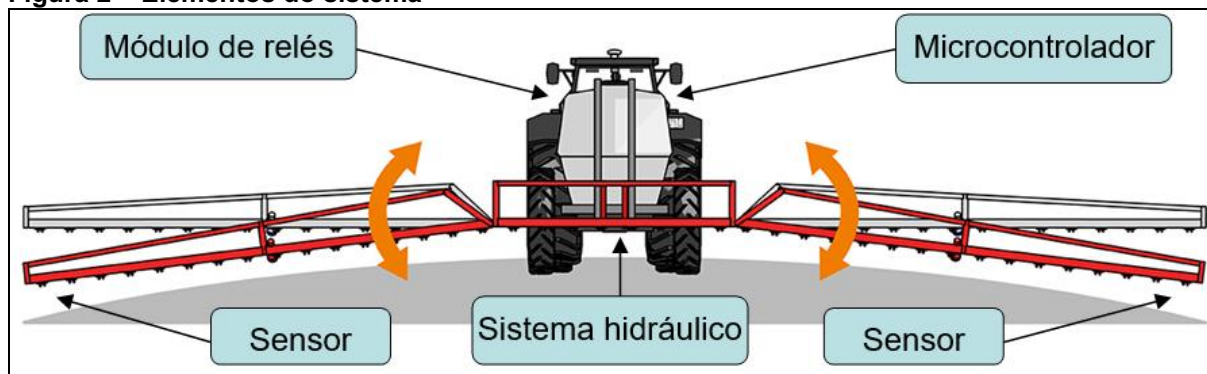
- a) Memória;
- b) Frequência de processamento;
- c) Entradas e saídas;
- d) Protocolos de comunicação;
- e) Conversores.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 CONCEITO

Na Figura 2 é possível verificar a disposição dos elementos do sistema. Os sensores ficam posicionados nas extremidades das barras. O sistema hidráulico de pistões é responsável por subir ou descer a barra, sendo a barra esquerda independente da direita. O módulo de relés e o microcontrolador ficam fixados na estrutura do pulverizador e são ligados os sensores por meio de fiação elétrica de controle.

Figura 2 – Elementos do sistema



Fonte: Müller-Elektronik (2020).

3.2 COMPONENTES

3.2.1 Sensor Ultrassônico

O Sensor Ultrassônico HC-SR04, com informações fornecidas por Oliveira (2019), é aplicado com mais frequência em projetos de robótica, principalmente em protótipos. O sensor é capaz de medir com precisão (3mm de margem de erro) distâncias de 2cm até 4m.

A composição do Sensor Ultrassônico HC-SR04 é feita de um emissor e um receptor ultrassônico, onde o sensor emite (emissor) sinais ultrassônicos que serão refletidos no obstáculo / objeto retornando ao sensor (receptor). Com base no tempo que o sinal emitido levou para retornar ao sensor, o mesmo efetua o cálculo da distância.

As especificações e características do Sensor Ultrassônico HC-SR04 são:

- a) Tensão de operação: 5VDC;
- b) Corrente de operação: 15mA;
- c) Faixa de detecção (ângulo): $\pm 15^\circ$;
- d) Alcance: 2cm a 4m;
- e) Margem de erro: ± 3 mm.

3.2.2 Microcontrolador

Na home page do Baú da Eletrônica é detalhado que o Arduino Mega 2560 R3 Compatível é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega2560. Ele possui 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de *hardware*), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de *reset* (BAÚ_DA_ELETRÔNICA, 2020a).

3.2.3 Módulo de Relés

O Baú da Eletrônica também apresenta informações do módulo de relés que é utilizado no protótipo para acionar as bobinas solenóides do comando de movimentação das barras (BAÚ_DA_ELETRÔNICA, 2020b). Especificações e características são:

- a) Tipo: Digital;
- b) Placa de oito canais com oito relés e circuitos de driver opto acoplados;
- c) Sinal de Controle: Nível TTL;
- d) Bobina: 5VDCC 75mA;
- e) Carga nominal do relé: 12A 125VAC, 7A 250VAC;
- f) Carga nominal do módulo: 10A;
- g) Tempo de Acionamento de contato: 10ms.

3.3 CONTROLE

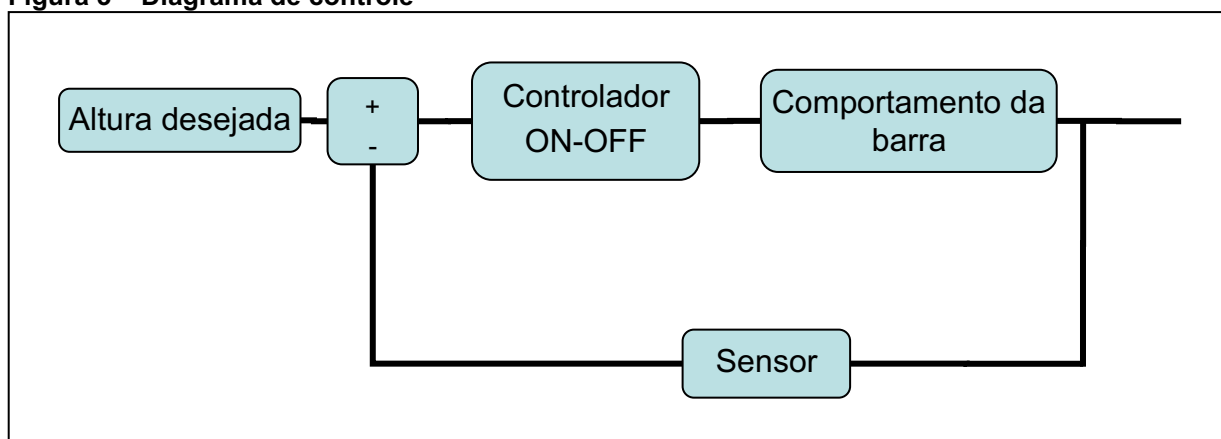
3.3.1 Lógica de Controle

A altura ideal é 70 cm de altura das barras em relação a superfície de contato. A lógica foi implementada no Arduino na linguagem C.

A partir do momento que se tem a primeira medição do sensor é realizada a comparação com o valor de referência.

Conforme o valor do erro, o tempo de acionamento é calculado proporcionalmente, ou seja, quanto maior o erro, maior será o tempo de energização das bobinas. Desse modo, há uma variável dedicada que corrige a resposta do controlador. O controle é realizado em malha fechada conforme a Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de controle



Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Tempo de Resposta

Observou-se o tempo de resposta das barras desde a aferição do valor do sensor até o término do movimento realizado. O valor obtido fica entre 200ms e 500 ms conforme a altura.

3.3.3 Janelas de Controle

O controle atua nas faixas de altura não ideais, corrigindo a altura das barras. Foram definidas 3 janelas de controle: “baixo” de 0 a 59 cm, “ideal” de 60 a 80 cm e “alto” de 81 a 200 cm.

3.4 INSTALAÇÃO

O sistema utilizou como fonte de energia a própria bateria do trator. O equipamento foi interligado com o sistema de controle manual, sendo ligado em paralelo, simplificando a ligação.

Os sensores foram fixados na barra com braçadeiras plásticas. A Figura 4 mostra um sensor posicionado na metade da barra esquerda do pulverizador.

Figura 4 – Sensor instalado



Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 mostra a central, na qual, é conectado em paralelo o módulo de relés para automatizar o processo de acionamento dos solenóides.

Figura 5 – Central do controle



Fonte: Autoria própria.

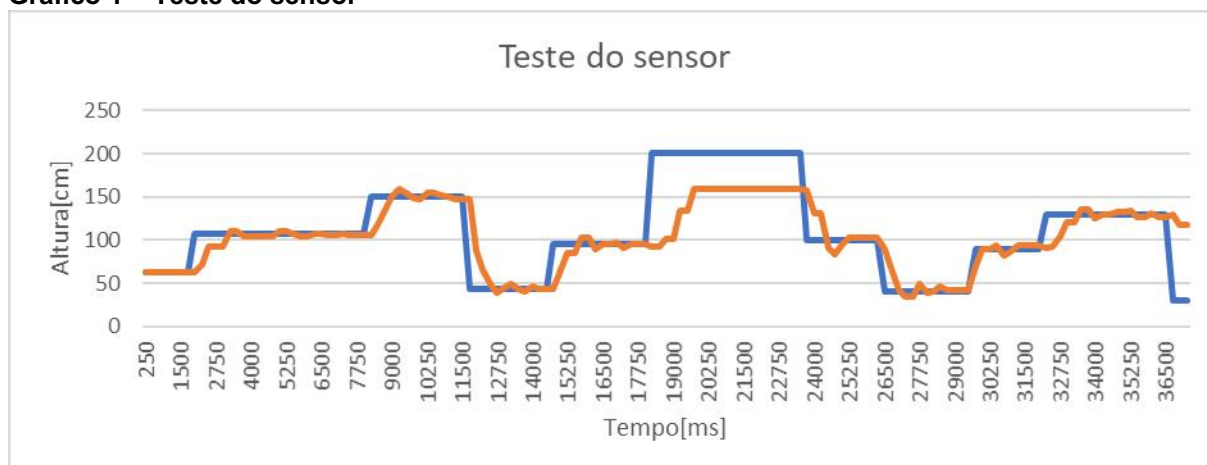
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 TESTES

4.1.1 Teste do Sensor

Na primeira etapa de testes, foram realizadas atuações manuais nos comandos originais do equipamento, a fim de testar o sensor de altura. As aferições tem intervalo de tempo de 250ms e a altura está em centímetros. O resultado segue conforme o Gráfico 1. O teste do sensor foi realizado com o equipamento parado em piso de concreto.

Gráfico 1 – Teste do sensor



Fonte: Autoria própria.

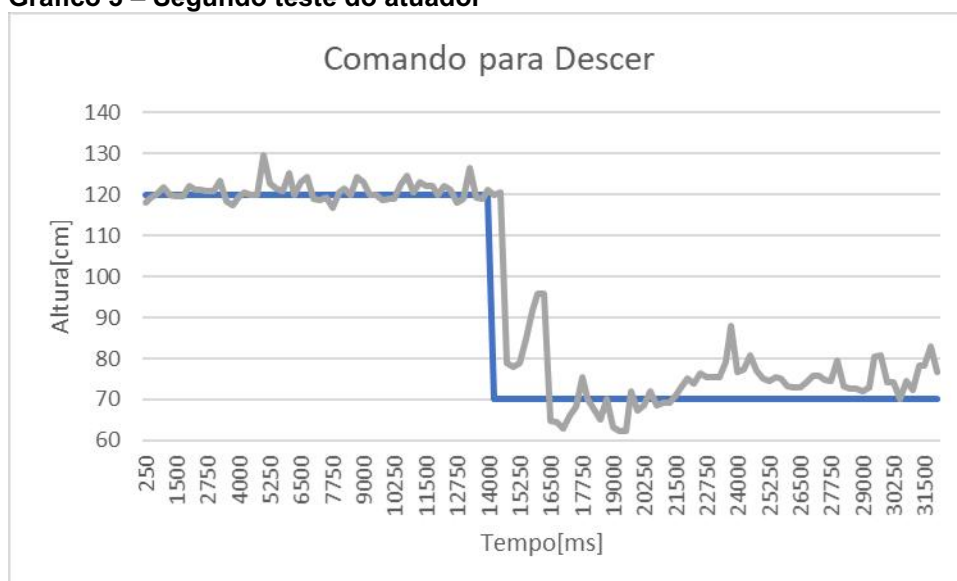
4.1.2 Teste do Atuador

Após o desenvolvimento do atuador, foi realizado um novo teste. Foi aplicado um sinal no comando a fim de testar a resposta da barra. O teste foi realizado com o equipamento parado em palha de trigo. Foi dado um comando a fim de simular um degrau positivo na medição. O resultado do experimento segue no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Primeiro teste do atuador

Fonte: Autoria própria.

Foi aplicado outro comando para simular um degrau negativo na altura na barra do pulverizador. O resultado segue no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Segundo teste do atuador

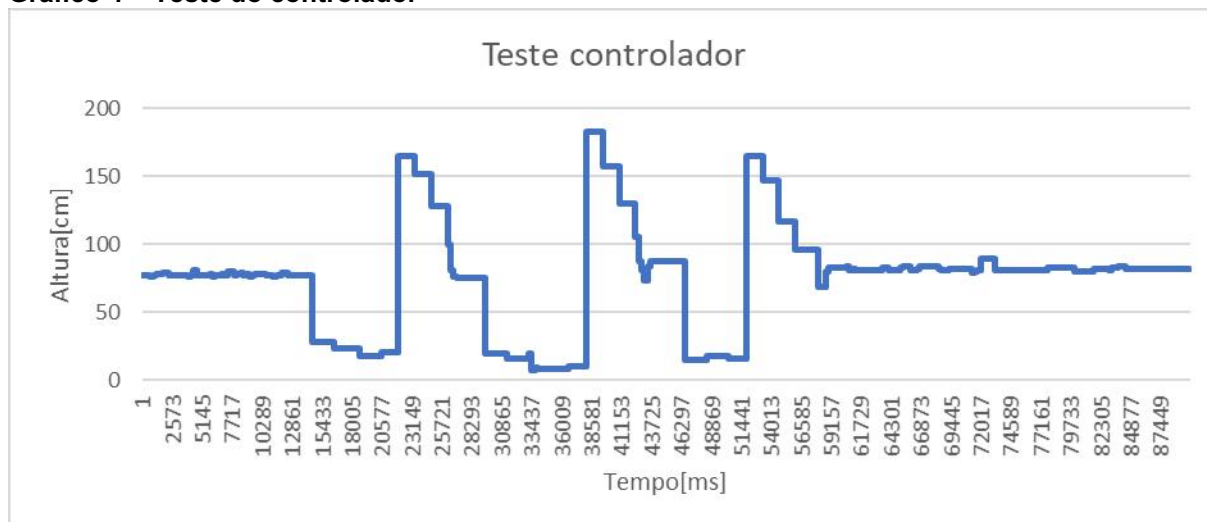
Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Teste do Controlador

O teste foi realizado com o equipamento parado. Foi inserido um obstáculo no sensor para testar a reação do sistema. No Gráfico 4 é ilustrado o comportamento da altura da barra em função do tempo. Os vales representam a aproximação do obstáculo no sensor, consequentemente o controlador faz a barra subir. Após a

retirada do obstáculo a altura real é medida, observada nas cristas, e o controle faz a correção para valor de aproximadamente 80 cm.

Gráfico 4 – Teste do controlador



Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Teste Final em Campo

O teste consistiu em habilitar o controle automático do sistema a partir de um uso típico de pulverização sobre soja com aproximadamente 40 cm de vegetação.

O sistema precisou de uma calibração para a rotação correta do motor, que é proporcional a vazão da bomba de óleo. E também foram definidas as taxas de resposta do sistema, sendo maior ganho para subir e menor ganho para descer a barra. Não foi possível obter os dados neste teste, pois o método utilizado para salvar os valores foi através da serial do notebook, logo não era seguro fixar o notebook no equipamento.

4.1.5 Custos do Projeto

O projeto foi desenvolvido com componentes de baixo custo. O kit de desenvolvimento Arduino custa em torno de 50 reais, e foi o componente mais caro. Os sensores ultrassônicos custam na faixa de 15 reais cada e o módulo de 8 relés ficou em 40 reais. Somando todos esses custos, cabos, caixas e conectores, resultou num valor de aproximadamente 250 reais. Outras ferramentas já estavam disponíveis, como por exemplo ferro de solda, furadeira e as chaves.

O preço médio apresentado em feiras agrícolas para a instalação de um equipamento similar, porém profissional, varia em torno de 15 mil reais.

4.2 PRÓXIMOS PASSOS

Apesar de o sistema ter um ótimo desempenho, há melhorias a serem realizadas. Entre elas, estão:

- Novo teste em campo para gravar os dados de medição no próprio microcontrolador.
- Aumentar a quantidade de sensores por barra.
- Trocar os sensores por modelos resistentes a umidade do ambiente de trabalho.
- Criar circuito de inibição do controle manual enquanto o sistema automático estiver ativado.
- Calibrar o sistema em diversas culturas.
- Criar uma interface para regulagem dos parâmetros do controlador.

5 CONCLUSÃO

O sistema de controle de altura das barras para o pulverizador agrícola funcionou conforme o esperado. O sistema foi desenvolvido, montado, instalado e testado. Os resultados preliminares demonstraram respostas rápidas, controladas e estáveis. Não foram realizados testes em todas as culturas, porém, para soja, as respostas foram satisfatórias.

O sistema apresenta alguns pontos fracos, como por exemplo a resistência dos componentes as condições do ambiente agressivo de uso do equipamento. Além disso, o sistema ainda não detecta falha no plantio devido à baixa quantidade de sensores.

O valor gasto para desenvolver o sistema foi baixo, o que era desejado. Porém, obteve resultados bons, para a primeira versão do protótipo.

A maior dificuldade foi desenvolver a lógica de controle. Esta, deveria evitar o uso frequente dos solenóides, mesmo necessitando de uma rápida resposta, sendo ainda o sistema restrito apenas ao controle ON-OFF.

Entre as melhorias, a qual deverá ser prioritária é aumentar a quantidade de sensores, pois, resultará em uma melhor aquisição de dados que servem de base para o controle.

Portanto, os benefícios que esse sistema pode trazer ficaram claros com o funcionamento do protótipo, a altura da barra permaneceu dentro dos limites de altura conforme desejado.

REFERÊNCIAS

BAÚ_DA_ELETRÔNICA. Arduino Mega R3 Compatível. Copyright© Baú da Eletrônica Componentes Eletrônicos LTDA. 2020a. Disponível em <<https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-mega-2560-compativel-cabo-usb.html>>. Acesso em: 18/10/2019.

BAÚ_DA_ELETRÔNICA. Módulo de relés 5V. Copyright© Baú da Eletrônica Componentes Eletrônicos LTDA. 2020b. Disponível em <<https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-rele-5v-8-canais.html>>. Acesso em: 18/10/2019.

BONFANTE, Leandro Canal. **Sistema eletrônico para controle das barras de um pulverizador agrícola**. Patente. Data de publicação: 28 jun. 2009. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/391566/sistema-eletronico-para-controle-das-barras-de-um-pulverizador-agricola>>. Acesso em: 17/10/2019.

JACTO. **Pulverizador agrícola: tudo o que você precisa saber**. Copyright© Grupo Jacto. Publicado em: 01 nov. 2017. Disponível em <<https://blog.jacto.com.br/pulverizador-agricola-tudo-o-que-voce-precisa-saber>>. Acesso em: 16/02/2020.

MAHAMMED, Manaf A., MELHUM, Ameral I., KOCHERY, Faris A. **Object Distance Measurement by Stereo VISION**. International Journal of Science and Applied Information Technology (IJSAIT), v. 2, n. 2, 2013. p. 05-08. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=963F4A4C093768529057599250D4142C?doi=10.1.1.380.1690&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 16/10/2019.

MECÂNICA. **O que é um sensor ultrassônico**. Copyright© 2020 Mécânica Industrial. Texto publicado em: 04 jun. 2012. Disponível em <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/598-o-que-e-um-sensor-ultrassonico/>>. Acesso em: 16/02/2020.

MÜELLER-ELEKTRONIK. **ISOBUS Distance-Control I und II**. Copyright© 2014-2020. Müller-Elektronik GmbH Disponível em: <<https://www.mueller-elektronik.de/en/products/distance-control/>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

OLIVEIRA, Euler. **Como usar com Arduino – Sensor Ultrasonico HC-SR04**. Copyright ©Blog MasterWalker Shop. 2019. Disponível em <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>>. Acesso em: 17 out. 2019.

SCHOENKNECHT, Eduardo. **Medição de distância com o uso de laser**. 2010. Projeto de Diplomação (Graduação) – Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33069/000788109.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

STARA. **Manual de instruções - Pulverizador autopropelido IMPERADOR 3100**. Copyright© STARA S/A - Indústria de Implementos Agrícolas. Publicado em: ago. 2015 Disponível em <https://www.stara.com.br/wp-content/uploads/2015/09/MANU-7923-P_interativo.pdf>. Acesso em: 20/02/2020.