

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

JULCIANO MARMENTINI

AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA DE COLHEDORA DE GRÃOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2021**

JULCIANO MARMENTINI

AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA DE COLHEDORA DE GRÃOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri

JULCIANO MARMENTINI

AUTOMAÇÃO DE PLATAFORMA DE COLHEDORA DE GRÃOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 09 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Camille Leuninger Bastien

Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)
URI Erechim

URI Erechim


Luis Tartakovsky

Prof. Esp. Fernando Luis Tartari Peres (Examinador)

URI Erechim

Prof. Me. Sérgio Bordignon (Ex-URI Erechim)

Prof. Me. Sérgio Bordignon (Examinador)

URI Erechim

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que proporcionou poder viver esse momento e me fortaleceu em cada desafio.

À minha família, que esteve sempre me apoiando em todas as dificuldades encontradas, em especial à minha mãe Marli e namorada Tailana, por todo apoio, compreensão e incentivo nesta caminhada.

Ao Professor Dr. Cássio Luciano Baratieri que acreditou na minha ideia e sempre esteve presente, me incentivando e prestando suporte durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores da banca, Professor Me. Sergio Bordignon e Professor Esp. Fernando Peres pela disponibilidade e contribuições.

À empresa Kesoja pela oportunidade de estar em contato acompanhando as máquinas agrícolas, bem como aos mecânicos: Gleison e Nando, por toda experiência compartilhada.

Por fim, agradeço também toda comunidade acadêmica da URI-Erechim, principalmente ao corpo docente do curso de Engenharia Elétrica e laboratoristas, por todo conhecimento repassado e apoio no decorrer da graduação.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê. ”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento de um sistema eletrônico embarcado que possibilita o auto nivelamento da plataforma de uma colhedora de grãos. O embasamento e contextualização foi feito a partir da revisão bibliográfica referente à história das colhedoras de grãos e seus princípios de funcionamento, sobre o sistema de nivelamento da plataforma e também sobre os sistemas embarcados. Além disso, a elaboração do trabalho contou com visita técnica a uma oficina e revenda de máquinas agrícolas, que contribuiu para a identificação do modelo da colhedora e da plataforma a ser implementada. O projeto possui como objetivo desenvolver um sistema eletrônico embarcado para o auto nivelamento da plataforma de uma colhedora, gerando maior eficiência na colheita e precisão na operação da máquina agrícola. Ademais, foram desenvolvidos testes para validar a funcionalidade do sistema. Para tanto, realizou-se a simulação computacional do sistema proposto, utilizando os programas PIC C Compiler CCS e SimulIDE; foram executados os testes parciais em bancada; e, a realização da validação do sistema eletrônico embarcado através do desenvolvimento de um protótipo. Além disso, realizou-se levantamento dos custos da placa eletrônica e uma estimativa de gastos para instalação do sistema em uma colhedora de grãos. Por fim, constatou-se que o sistema desenvolvido apresentou resultados que condizem com o projeto e, desta forma, propiciam a implementação em uma colhedora de grãos.

Palavras-chave: Sistema eletrônico embarcado. Colhedora de grãos. Auto nivelamento.

ABSTRACT

This work presents the study and development of an embedded electronic system that will enable the self-leveling of the platform of a grain harvester. The foundation and contextualization was made from the literature review regarding the history of grain harvester and their operating principles on the platform leveling and also on the embedded system. Besides that, the preparation from work included a technical visit to a workshop and agricultural machinery dealership which contributed to the identification of the harvester model and the platform to be implemented. The Project objective to develop an embedded electronic system for the self-leveling of the platform of a harvester, generating greater efficiency in harvesting and precision in agricultural machine operation. Furthermore, the presented were developed tests to validate the system's functionality. Therefore, a computer simulation of the proposed system was carried out, using the PIC C Compiler CCS and SimulIDE programs; partial bench test were performed; and the validation of the embedded electronic system through the development of a prototype. More, a survey of the costs of the electronic board and an estimate of the spent for installing the system in a grain harvester were carried. Finally, it was found that the developed system presented results that match the project and, in this way, allow the implementation in a grain harvester out.

Keywords: Embedded electronic system. Grain harvester. Self-leveling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Colhedora combinada de tração animal (esquerda) e colhedora acionada por motor a vapor (direita).	18
Figura 2 - Colhedora marca New Holland, modelo TC 4.90.	19
Figura 3 - 1 Alimentação, 2 Debulha, 3 Separação, 4 Limpeza, 5 Armazenamento e descarga de grãos.....	20
Figura 4 - Representação da plataforma de corte e canal alimentador.....	21
Figura 5 - Diagrama do funcionamento da operação da plataforma da colhedora modelo TC5070.....	23
Figura 6 - Teclas de acionamento no painel de controle da colhedora TC5070.	24
Figura 7 - Alavanca multifunção da colhedora TC5070.	24
Figura 8 - Diagrama resumido de um microcontrolador.	26
Figura 9 - Princípio de funcionamento do sensor indutivo.	27
Figura 10 - Comportamento do oscilador.....	28
Figura 11 - Detalhes do tipo de ligação (a) PNP, (b) NPN.	28
Figura 12 - Modelos de sensores indutivos.	29
Figura 13 - Relé marca Metaltex.	30
Figura 14 - Cilindro Hidráulico.....	30
Figura 15 - Modelos de Eletroválvula.	31
Figura 16 - Colhedora New Holland modelo TC5070.	33
Figura 17 - Alavanca multifunção da colhedora modelo TC5070.	33
Figura 18 - Diagrama das modificações do projeto utilizando microcontrolador.....	35
Figura 19 - Sensor indutivo.	36
Figura 20 - Relé 5 Vcc.....	37
Figura 21 - Fluxograma Principal.....	38
Figura 22 - Fluxograma Modo Manual.	39
Figura 23 - Fluxograma Modo Semiautomático.	40
Figura 24 - Fluxograma Modo Automático.....	41
Figura 25 - Simulação do circuito divisor de tensão.	43
Figura 26 - Shield de Relé.	44
Figura 27 - Projeto da placa com indicação de seus circuitos.	47
Figura 28 - Placa do módulo finalizada.....	48

Figura 29 - Projeto da plataforma.....	49
Figura 30 - Projeto da base e pescoço do protótipo.....	49
Figura 31 - Visão lateral do projeto do protótipo.	50
Figura 32 - Pistão linear modelo LA 10.	50
Figura 33 - Pistão linear modelo LA 1.	51
Figura 34 - Peças da alavanca multifunção impressas pela impressora 3D.	52
Figura 35 - Estrutura da plataforma finalizada.....	53
Figura 36 - Visão lateral da estrutura do pescoço, com base de madeira, e pistões fixados. ...	54
Figura 37 - Visão frontal da estrutura do pescoço.....	54
Figura 38 - Identificação dos sensores indutivos na plataforma.	55
Figura 39 - Indicação das chaves fim de curso que limitam a inclinação da plataforma.	55
Figura 40 - Indicação das chaves fim de curso que limitam a movimentação de subida e descida da plataforma.	56
Figura 41 - Alavanca multifunção finalizada.	56
Figura 42 - Placa eletrônica e drives de acionamento dos pistões.....	57
Figura 43 - Caixa com a placa eletrônica e drives finalizada.....	58
Figura 44 - Caixa fechada finalizada.....	58
Figura 45 - Circuito para teste computacional.	61
Figura 46 - Montagem dos testes em bancada.....	62
Figura 47 - Visão frontal do protótipo.....	63
Figura 48 - Visão lateral do protótipo.	63
Figura 49 - Plataforma totalmente erguida.	65
Figura 50 - Plataforma totalmente baixada.	65
Figura 51 - Plataforma totalmente inclinada lado direito do operador.....	66
Figura 52 - Plataforma totalmente inclinada lado esquerdo do operador.....	66
Figura 53 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando inclinar lado direito da plataforma.....	67
Figura 54 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando inclinar lado esquerdo da plataforma.....	68
Figura 55 - Representação do tempo de percurso do pistão linear responsável pela inclinação da plataforma.	68
Figura 56 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando subir plataforma.....	69

Figura 57 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando descer plataforma.....	69
Figura 58 - Representação do tempo de percurso do pistão linear responsável pela subida e descida da plataforma.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo dos componentes da placa eletrônica.	59
Tabela 2 - Estimativa de custos do sistema flutuante elétrico.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPU	Unidade Central de Processamento
E/S	Entrada/Saída
SPI	Interface Periférica Serial
USART	Receptor Universal Síncrono e Assíncrono
CI	Circuito Integrado
PNP	Positivo Negativo Positivo
NPN	Negativo Positivo Negativo
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
PIC	Controlador de Interface Programável
Vcc	Tensão em Corrente Contínua
LED	Diodo Emissor de Luz
Ah	Ampere-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 História da colhedora de grãos	17
2.2 Princípio de funcionamento da colhedora	19
2.3 Sistema de nivelamento da plataforma	22
2.4 Sistemas embarcados	25
2.4.1 Microcontrolador	26
2.4.2 Sensores indutivos	27
2.4.3 Atuadores.....	29
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Sistema da Plataforma.....	32
3.1.1 Definição da colhedora e plataforma a ser implementada	32
3.1.2 Descrição do funcionamento do projeto do sistema da plataforma de corte	34
3.2 Automação do Sistema.....	35
3.3 Dispositivos selecionados para automação.....	36
3.3.1 Definição do microcontrolador.....	36
3.3.2 Definição do sensor	36
3.3.3 Definição do atuador.....	37
3.4 Desenvolvimento do projeto	37
3.4.1 Desenvolvimento do fluxograma.....	37
3.4.2 Desenvolvimento do código	42
3.4.3 Simulação computacional.....	42
3.4.4 Interface do sensor com o microcontrolador	42
3.4.5 Interface do microcontrolador com os atuadores.....	43
3.4.6 Simulação em bancada	44
3.4.7 Desenvolvimento da placa.....	45
3.4.8 Confeção da placa	47
3.4.9 Projeto do protótipo	48

3.4.10	Projeção e impressão da alavanca multifunção	51
3.4.11	Montagem do protótipo	52
3.4.12	Estimativa de custos	59
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
5.	CONCLUSÃO.....	71
5.1	Perspectivas futuras.....	71
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um setor da economia que está em constante crescimento e desenvolvimento, buscando sempre por maior produção e extensão de área cultivada e, para tanto, é imprescindível o uso da tecnologia (YAMASHITA, 2010).

Porém, ainda assim, ocorrem muitas perdas produtivas nas lavouras, que podem ser naturais, perdas na plataforma e também internas na máquina (MOLIN, 2020). Isso ocorre tanto por má eficiência no uso das máquinas, quanto por equívocos humanos, os quais acarretam em prejuízos para os produtores (MACHADO et al., 2012).

As colhedoras de grãos têm um papel muito importante no processo de cultivo das lavouras, visto que desempenham a função de retirada, separação dos grãos do restante da estrutura da planta e armazenamento para posterior transporte. São divididas por alguns setores, dentre eles cabe destacar dois importantes: o industrial, que faz a parte de debulha, separação e pré limpeza dos grãos; e o setor de alimentação do industrial, que a plataforma faz parte, a qual possui a função de cortar o produto na altura correta e direcionar através da trilha “pescoço” ao industrial (MOLIN, 2020).

Visto que todo produto colhido na lavoura necessita passar pelo processo de colheita para posterior comercialização, percebe-se a importância de uma melhor eficiência no processo de colheita, visando evitar perdas e também proporcionar maior eficiência da máquina e precisão no processo.

Neste aspecto, o presente projeto foi desenvolvido buscando aperfeiçoar um sistema de auto nivelamento da plataforma de uma colhedora de grãos, o qual proporcionará a realização do corte com maior precisão buscando melhor aproveitamento da produção agrícola. Além disso, apresenta baixo custo e procura utilizar o máximo de componentes já existente na máquina.

O projeto de automação conta com sistema eletrônico embarcado, que utiliza como principal dispositivo um microcontrolador, tornando o sistema mais barato. Aliado a ele, os sensores indutivos possibilitam uma maior eficiência de funcionamento da plataforma de corte.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar e desenvolver um sistema eletrônico embarcado que irá possibilitar o auto nivelamento da plataforma de uma colhedora de grãos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar tecnologias para automação de plataformas de colhedora de grãos;
- Especificar os dispositivos para utilizar no sistema de automação;
- Projetar e validar o funcionamento do sistema em ferramenta computacional e teste parcial em bancada.
- Projetar e confeccionar a placa eletrônica;
- Projetar e montar um protótipo em escala reduzida para validação do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é abordado uma revisão sobre a história da colhedora de grãos, os princípios de funcionamento da colhedora, sistemas de nivelamento da plataforma, sistemas embarcados, microcontrolador, sensores indutivos e atuadores, onde visa proporcionar embasamento para o desenvolvimento da monografia.

2.1 História da colhedora de grãos

A revolução industrial pode ser considerada um marco na mecanização, onde os métodos de produção artesanais foram deixados de lado e o interesse por métodos de produção com máquinas foi ganhando espaço, o que impulsionou este desenvolvimento na agricultura foi o número crescente da população mundial e, conseqüentemente, uma maior demanda por alimentos (CARPANEZZI et al., 2017).

A mecanização agrícola objetivou seu desenvolvimento em processos mecânicos que, aumentassem a produtividade das atividades agrícolas, tornasse o trabalho mais simplificado e atrativo, ofertando assim uma maior eficiência nas operações agrícolas, as quais pudessem melhorar os meios de plantio e aumentar a precisão destas etapas, resultando em redução nas perdas ao final de cada ciclo agrícola (SILVA, 2019).

O surgimento das primeiras técnicas de colheita se deu em torno de 400 a.C. no Império Romano, onde através da tração animal, um equipamento semelhante a um pente de madeira se locomovia na lavoura retirando as espigas de trigo para, posteriormente, ser trilhado por meio de pisoteio animal (CARPANEZZI et al., 2017).

Com o aprimoramento dos implementos agrícolas, por volta dos anos de 1750 e 1850, surgiram tanto dispositivos de ceifas por tração animal, quanto implementos estacionários de trilha, ambos para contribuir com a inovação agrícola. No entanto, ocorreu a necessidade de dispositivos que combinasse as duas técnicas e, deste modo, na mesma época surgiram os primeiros implementos que possibilitam a colheita e também a trilha do produto, que ficaram conhecidas como colhedoras combinadas, porém ainda contava com tração animal (Figura 1). Só por volta de 1870 que foi possível obter a fonte de potência para as máquinas combinadas através de motores a vapor (Figura 1), e em torno de 1930 as primeiras combinadas autopropelidas ganharam espaço (MOLIN, 2020).

Figura 1 - Colhedora combinada de tração animal (esquerda) e colhedora acionada por motor a vapor (direita).



Fonte: MOLIN (2020)

No Brasil, o grande impulso para o agronegócio ocorreu em 1965 com o lançamento da primeira colhedora autopropelida do país, modelo SLC 65-A, que possibilitou substituir as tecnologias importadas por uma nacional e de qualidade. Até então o país importava a tecnologia e apenas montava as colheitadeiras, e esse avanço possibilitou oferecer maquinários de qualidade e eficientes para aumentar a produção e área de plantio (ÁSTER MÁQUINAS, 2017).

A colhedora autopropelida desta época no Brasil era composta por uma trilha estacionária sobre um chassi veicular, e era adicionado uma plataforma de corte. Essa máquina, no entanto, era principalmente destinada à colheita de trigo e arroz, e neste período a cultura da soja e do milho ganharam espaço, desta forma gerou-se a necessidade de criar dois modelos de plataforma: uma para a cultura do milho e outra para as demais culturas (MOLIN, 2020).

A fase de automação dos equipamentos iniciou-se na década de 80, a inovação buscava medir o fluxo de colheita em colhedoras de cereais e desta forma em 1991 surgiu o primeiro monitor de colheita. Subsequente a isto, uma visão mais preocupada com o bem estar dos operadores ganhou destaque, e desta forma as primeiras cabines são lançadas, proporcionando assim maior conforto e proteção. Além disso, neste período os comandos feitos de forma manual foram aos poucos sendo substituídos por sistemas elétricos e hidráulicos, permitindo melhor precisão no trabalho (JUNGES, 2019).

A busca constante por máquinas com melhor eficiência, maior precisão e economia de custos fez com que a partir dos anos 2000 surgisse o piloto automático nas colhedoras, o qual possibilita o direcionamento de colheita ser feito de forma automática por um sistema computadorizado e apenas as manobras mais complexas são feitas pelo operador (JUNGES, 2019).

As tecnologias estão em constante aperfeiçoamento e contribuem para uma nova era na agricultura, a qual é marcada pelo monitoramento das operações agrícolas, buscando reduzir as perdas e utilizar sistemas integrados (JUNGES, 2019).

A figura 2 representa uma colhedora moderna da marca New Holland modelo TC4.90, a qual possui conforto e espaço em sua cabine, alta performance com debulha por cilindro, tradicional sistema de saca palha, baixo índice de perdas e, possibilita alternar entre culturas de maneira fácil e rápida, mantendo bom desempenho em qualquer lavoura (NEW HOLLAND, 2020).

Figura 2 - Colhedora marca New Holland, modelo TC 4.90.



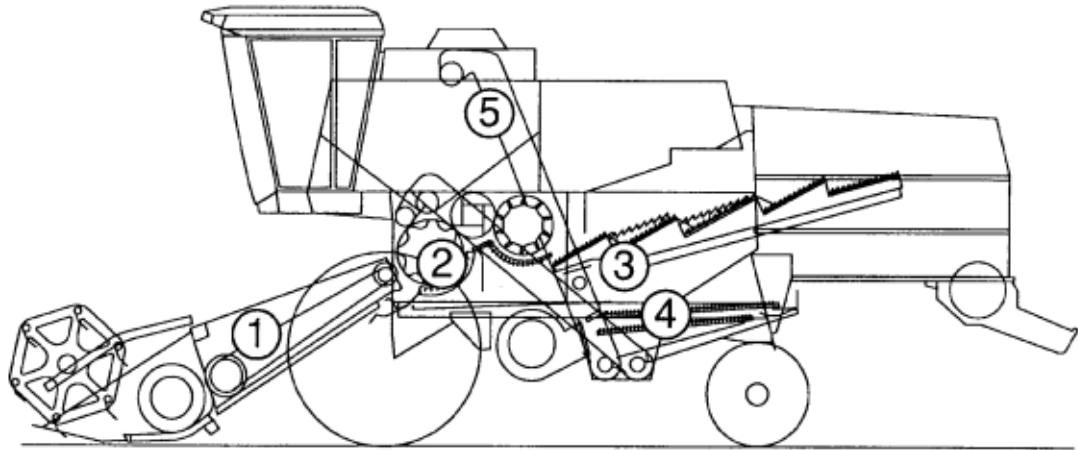
Fonte: NEW HOLLAND (2021)

2.2 Princípio de funcionamento da colhedora

Balestreire (1987) ressalta que as etapas da colheita de cereais podem ser divididas em: corte, alimentação, trilha, separação e limpeza, e que uma máquina capaz de realizar todas estas funções e também ser autopropelida será chamada de colhedora combinada.

Na figura 3 está representada uma colhedora de grãos e suas respectivas etapas de funcionamento, que estão descritas conforme os números indicados.

Figura 3 - 1 Alimentação, 2 Debulha, 3 Separação, 4 Limpeza, 5 Armazenamento e descarga de grãos.



Fonte: NEW HOLLAND (2016)

O sistema de corte das colhedoras está contido, basicamente, em uma plataforma, que apresentará diferença caso o cereal a ser colhido seja o milho, exigindo uma plataforma específica, já nos demais cereais como soja, arroz e trigo o sistema e elementos da plataforma será o mesmo: separador, molinete, barra de corte e condutor helicoidal (BALESTREIRE, 1987).

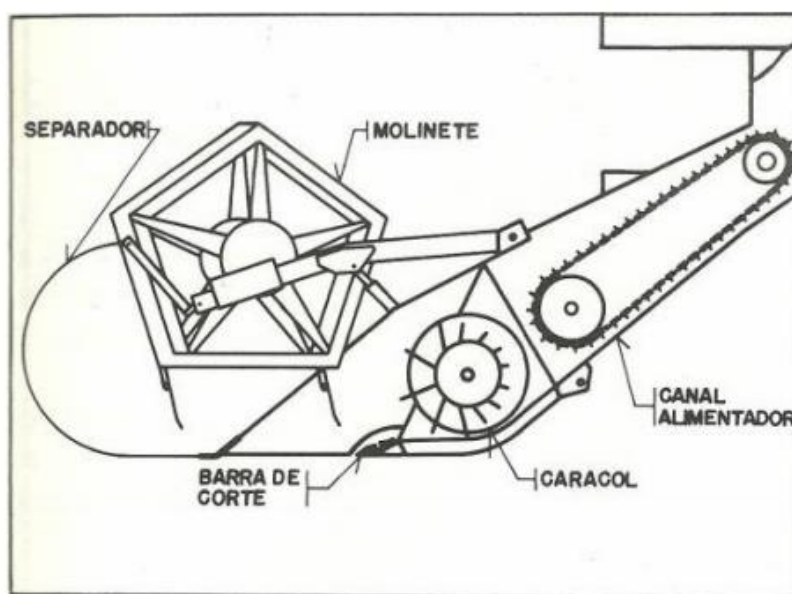
Silva (2015) destaca que os elementos da plataforma comum para os cereais descritos anteriormente e suas respectivas funções são:

- Separadores: encontram-se nas laterais das plataformas de corte e apresentam função de separar uma fileira do cereal do restante da cultura evitando assim que caia lateralmente, além de possuir importante função em culturas acamadas ou com grande carga.
- Molinete: possui função de orientação de uma seção das plantas na direção de corte para posterior entrada no condutor helicoidal, ele é um rotor de mesma largura da plataforma e existem dois tipos de molinetes, o de barras e o de dentes, que serão utilizados dependendo da cultura e local.
- Barra de corte: sua atuação se dá através da ação de dois elementos cortantes opostos os quais se cruzam com pouca folga, resultando no corte das plantas, as quais chegam até a barra de corte por atuação do molinete.
- Condutor helicoidal: é também conhecido como caracol, ele possui formato cilíndrico o qual gira e abrange toda a largura da plataforma, além disso possui

dois helicoides opostos que possibilitam que a planta chegue até o canal alimentador. A regulação dos helicoides e o fundo da plataforma se dá em função da cultura colhida e seu volume, de forma que seja possível a passagem sem obstruções.

Na figura 4 é possível observar o sistema de corte de uma plataforma de colhedora de cereais e alguns dos elementos que a compõem.

Figura 4 - Representação da plataforma de corte e canal alimentador.



Fonte: MASSEY FERGUSON (1987)

O mecanismo de alimentação fará com que o material cortado seja levado até o mecanismo de trilha por uma esteira transportadora, a qual apresenta correntes longitudinais, com taliscas transversais que raspam o material sobre o fundo e levam até o seu destino (BALESTREIRE, 1987).

Já o mecanismo de trilha, por sua vez, apresenta função de remoção do grão do material cortado e representa a funcionalidade da máquina (MOLIN, 2020).

Segundo Balestreire (1987) há basicamente três diferentes tipos de mecanismos de trilha, os quais podem ser citados a seguir, com suas respectivas descrições:

- Cilindro de dentes e côncavo: formato cilíndrico com flanges laterais rebitas que possuem 8 barras contendo dentes capazes de trilhar, já o côncavo é constituído de uma chapa curva perfurada que cobre parcialmente o cilindro batedor. Neste caso, assim como o cilindro, o batedor também possui dentes, estes por sua vez são alternados com folga ajustável. Este mecanismo é muito utilizado na cultura de arroz.

- Cilindro de barras e côncavo: neste caso há em torno de cinco flanges com barras de aço com a presença de ranhuras, e o côncavo apresenta barras lisas verticais que permitem a passagem dos grãos trilhados para as peneiras que se encontram na parte de trás e de baixo do cilindro.
- Cilindro axial: neste caso há dentes distribuídos de forma helicoidal sobre o cilindro, e este por sua vez está disposto de forma axial ao côncavo, e neste mecanismo há uma chapa perfurada cobrindo totalmente o cilindro.

Por sua vez, o mecanismo de separação ocorre após a ação do cilindro trilhador sobre o material, resultando na mistura de palha e palha triturada, grãos debulhados e grãos não debulhados. A separação é feita através da grelha formada pelas barras do côncavo, da grelha sob o cilindro bateador e do saca palhas (BALESTREIRE, 1987).

Último mecanismo, mas não menos importante será o mecanismo de limpeza nas colhedoras, o qual é constituído pela peneira superior, peneira inferior e ventilador (BALESTREIRE, 1987).

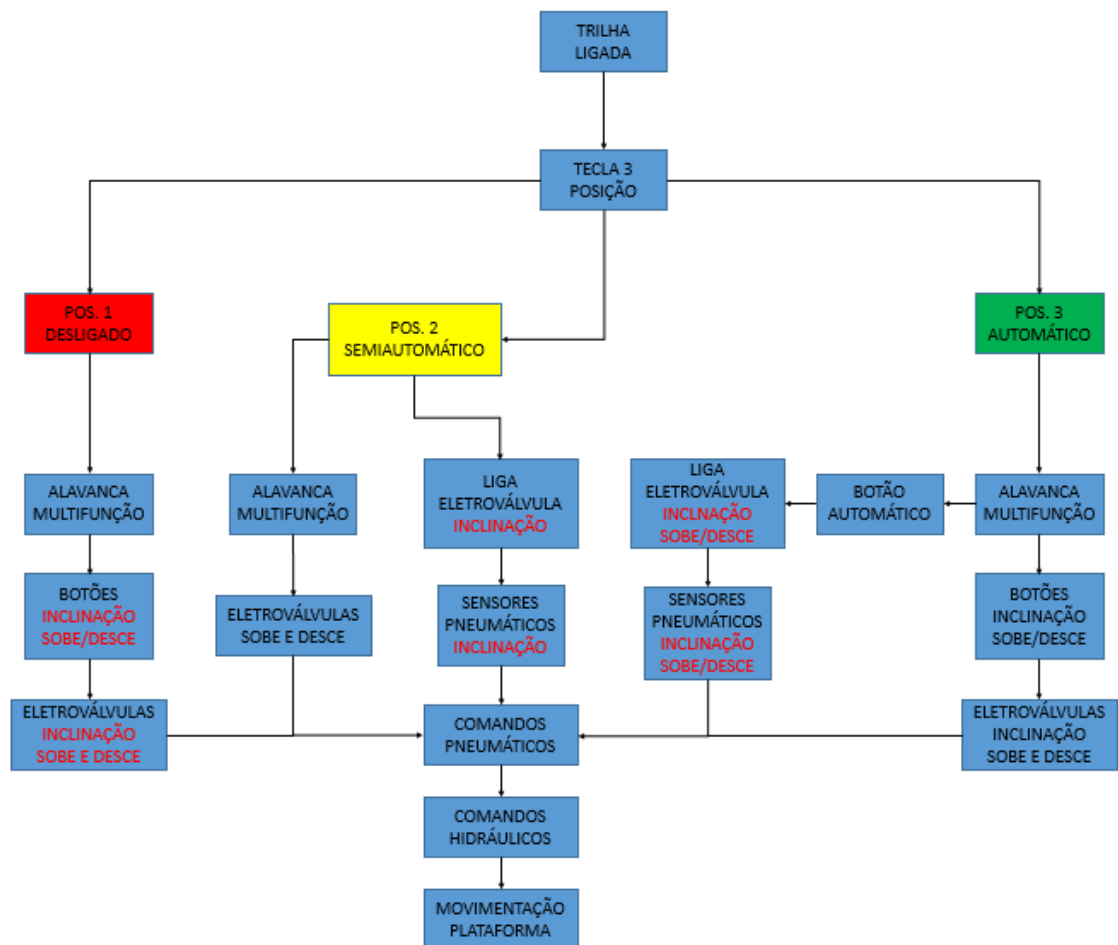
2.3 Sistema de nivelamento da plataforma

As colhedoras de grãos mais modernas possuem sistemas de nivelamento automático com custo de aquisição e manutenção alto, isso se dá pelo fato de que a tecnologia utilizada é importada. Na colheita há muitas perdas, e através da regulação automática da altura de corte, e do nivelamento da plataforma de corte é possível diminuir essas perdas. O método adotado para nivelamento é através do acionamento do servo pneumático. Essa técnica é utilizada por algumas colhedoras como Massey Ferguson MF32, New Holland Série TC, e John Deere 9780i CTS (ENDLER et al, 2007).

A colhedora modelo TC5070 trabalha com plataforma de corte com três modos de operação (Figura 5), que são selecionados através de uma tecla (nº5), três posições (Figura 6). Na primeira posição desligada, onde a operação é totalmente manual; também pode ser na segunda posição ligado flutuação lateral, onde o operador através da alavanca multifunção (Figura 7) realiza subida e descida da plataforma, e os sensores pneumáticos fixados nos bicos da plataforma realizam o sensoramento da flutuação da plataforma. Além disso, pode estar na terceira posição, onde a operação pode acontecer de forma totalmente manual, em que o operador através da alavanca multifunção faz o controle da altura e inclinação da plataforma ou, de forma totalmente automática, em que o operador pressiona um botão (nº4) localizado atrás da alavanca multifunção e a partir deste momento a operação passa ser totalmente

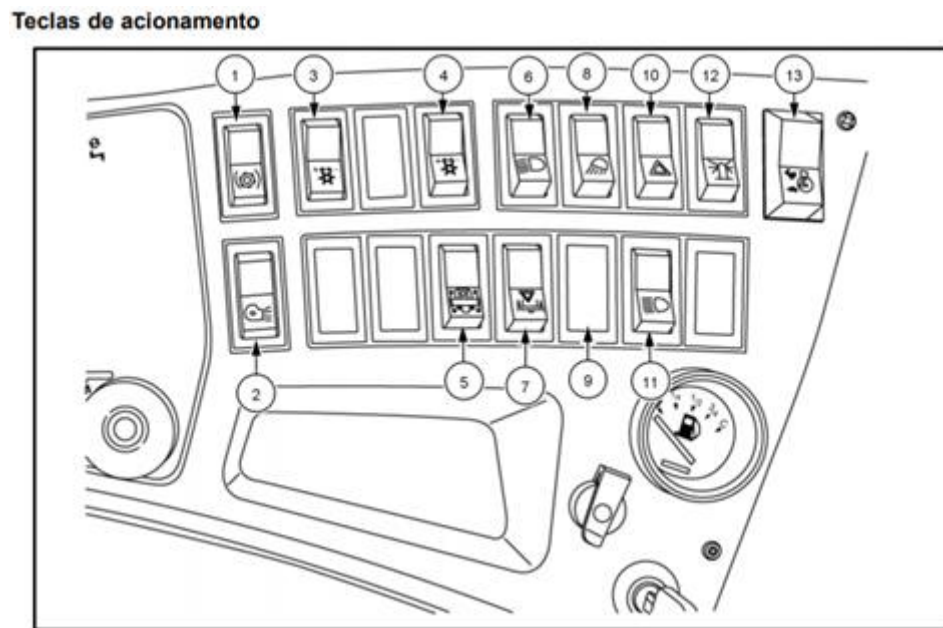
automática, no qual os sensores pneumáticos fixados na plataforma realizam o sensoriamento da altura e inclinação da plataforma. Porém, quando o operador pressiona a tecla de subir plataforma a operação retorna para a opção manual (NEW HOLLAND, 2016).

Figura 5 - Diagrama do funcionamento da operação da plataforma da colhedora modelo TC5070.



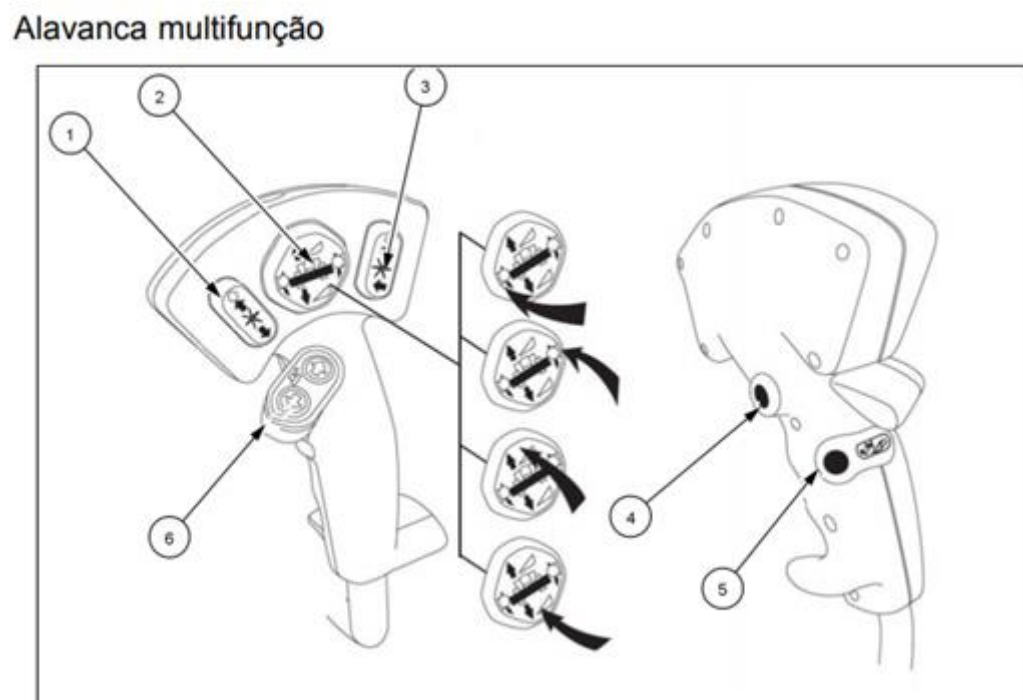
Fonte: O autor (2021)

Figura 6 - Teclas de acionamento no painel de controle da colhedora TC5070.



Fonte: NEW HOLLAND (2016)

Figura 7 - Alavanca multifunção da colhedora TC5070.



Fonte: NEW HOLLAND (2016)

O controle automático torna-se muito importante uma vez que proporciona ao operador mais praticidade no ajuste constante da altura da plataforma, fazendo com que a barra de corte permaneça próxima ao solo mesmo no trabalho noturno e relevo com declividade, que gera limitações. Esse ajuste é possível devido aos sensores que possibilitam a altura de corte desejada (SILVA, 2015).

2.4 Sistemas embarcados

Oliveira e Andrade (2010) enfatizam que os sistemas embarcados são arquiteturas básicas da unidade de processamento e, podem desta forma, ser compreendidos como sendo uma caixa com componentes eletrônicos que possuem uma dinâmica simples de entendimento e, além disso, possibilita o desenvolvimento das mais diversas aplicações, desde que seja feita a configuração correta de todos os componentes do sistema embarcado.

Os sistemas embarcados possuem como característica a capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema. No entanto, esse sistema precisa ser mais completo e independente do que um computador, porém, realiza apenas uma tarefa à qual foi projetado. O usuário/operador do sistema não terá acesso ao programa que foi gravado no dispositivo, somente poderá interagir com o sistema por intermédio de interfaces como teclados, display, entre outros (CUNHA, 2010).

O baixo custo dos processadores e das redes de computadores possibilita simplificar os processos de automação, uma vez que é possível utilizar a inteligência disposta entre os dispositivos envolvidos no projeto. É possível, desta forma, a interação entre sensores e atuadores inteligentes, computador de bordo e uma rede de comunicação (CUGNASCA; SARAIVA, 2005).

Os sensores e atuadores apresentam tecnologia própria e através de um pequeno processador encaminha as informações ao computador de bordo que recebe as instruções e destina assim para os atuadores a informação, acionando os dispositivos conforme projetado. Essa interligação entre os componentes é feita através de um único cabo, que dispensa a utilização de vários chicotes. O computador de bordo possui tela e teclas onde o operador através dessa interface realiza a operação (CUGNASCA; SARAIVA, 2005).

Cugnasca e Saraiva (2005) ressaltam que apesar de ser desafiador a criação de um padrão internacional para os sistemas embarcados em máquinas agrícolas, esse padrão poderá proporcionar uma conexão de dispositivos de fabricantes distintos, em um mesmo sistema, proporcionando assim a interoperabilidade dos dispositivos, onde são definidos os conectores,

os seus tipos de cabos e também os sinais elétricos e mensagens que são trocadas entre os elementos pertencentes à rede.

2.4.1 Microcontrolador

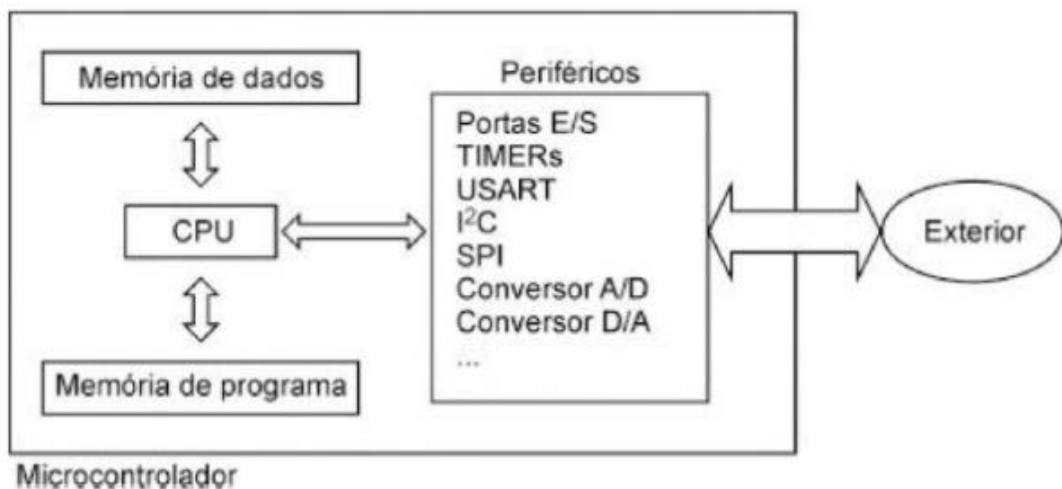
Os microcontroladores podem ser compreendidos como um pequeno computador, que são muito utilizados para desenvolvimento de projetos de sistemas embarcados simples, de maneira rápida e confiável, sendo dispositivos com excelente custo-benefício (LENZ; TORRES, 2019).

Oliveira e Andrade (2010) destacam que os microcontroladores são muito utilizados em situações nas quais há necessidade de controlar um dispositivo com sinais eletrônicos, como na automação industrial, residencial e predial, também em eletrônicos e brinquedos eletrônicos. Esses dispositivos contêm vários periféricos, como memórias, timers, barramentos, portas de comunicação, conversores de sinal analógico em digital, entre outros.

Sobre os microcontroladores (Figura 8), cabe ressaltar ainda que:

Os microcontroladores (μC ou MCU) são pequenos dispositivos dotados de "inteligência", basicamente constituídos de CPU (Central Processing Unit em inglês, ou Unidade Central de Processamento em português), memória (dados e programas) e periféricos (portas E/S, I2C, SPI, USART etc.). Suas dimensões reduzidas são resultantes da alta capacidade de integração, em que milhões de componentes são inseridos em uma única pastilha de silício pela técnica de circuitos integrados (CI's). Eles estão presentes na maioria dos equipamentos digitais, como celulares, MP3 player, impressoras, robótica, instrumentação, entre outros. (MIYADAIRA, 2013, p.22)

Figura 8 - Diagrama resumido de um microcontrolador.



Fonte: MIYADAIRA (2013)

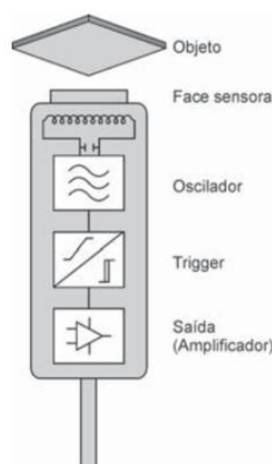
As arquiteturas mais presentes nos microcontroladores são: Harvard e Von-Neumann. Na arquitetura Harvard existe um barramento para acessar à memória de dados, e outro para a memória de programa, com isso aumentando o fluxo de dados. Já na arquitetura Von-Neumann as memórias compartilham o mesmo barramento, limitando a banda de operação (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

2.4.2 Sensores indutivos

Os sensores de posição são muito utilizados na indústria, onde desempenham a função de detectar diversas grandezas, variação de posição e deslocamento de peças. Os sensores indutivos por sua vez, detectam a presença de material a partir da variação da relutância, e para que a relutância seja variada é feita a variação da forma geométrica dos dispositivos, ou além disso, pode ocorrer a variação da permeabilidade magnética do material (μ). Análogo a isso, pode variar a indutância mútua, na qual um campo magnético gerado pela bobina sofrerá variação de um campo magnético gerado por um material metálico. Sendo assim, os sensores indutivos são detectores apenas de materiais metálicos (BRITO, 2019).

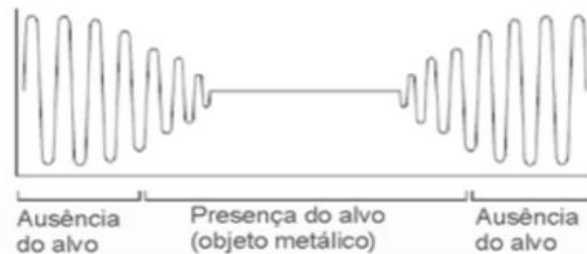
Thomazini e Albuquerque (2011) destacam ainda que, os sensores indutivos são dispositivos que não necessitam de contato físico, basta apenas aproximar um material metálico na face do sensor, e o circuito eletrônico do mesmo vai alterar o campo de frequência de rádio com um oscilador e uma bobina. Posteriormente, um comparador de sinal converte e amplifica essa informação tornando o sinal bem definido. Onde é possível observar o princípio de funcionamento na figura 9 e o comportamento do oscilador na figura 10.

Figura 9 - Princípio de funcionamento do sensor indutivo.



Fonte: THOMAZINI; ALBUQUERQUE (2011)

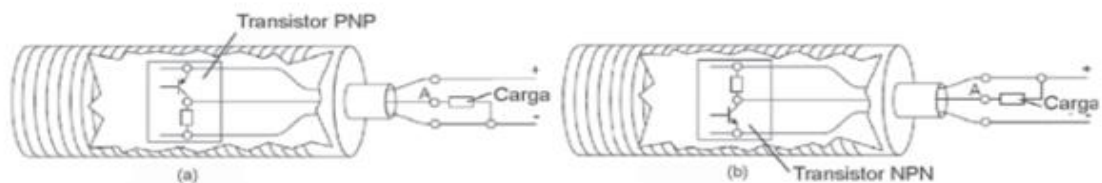
Figura 10 - Comportamento do oscilador.



Fonte: THOMAZINI; ALBUQUERQUE (2011)

O formato de construção dos sensores indutivos é determinante na detecção do alvo, e sendo assim, a sua capacidade de detectar varia diretamente proporcional ao diâmetro do sensor, quanto maior o diâmetro do sensor maior a capacidade. Nas situações onde é utilizado sensores com corrente contínua, geralmente são constituídos com três fios, os quais fazem a ligação elétrica do dispositivo. Eles possuem amplificadores de saídas constituídos de transistor podendo ser NPN ou PNP, conforme pode-se observar na figura 11 (BRITO, 2019).

Figura 11 - Detalhes do tipo de ligação (a) PNP, (b) NPN.



Fonte: THOMAZINI; ALBUQUERQUE (2011)

Existem sensores de proximidade indutivos para corrente contínua que possuem alimentação independente possuindo três ou quatro condutores, sendo dois para energização, um para contato NA (normalmente aberto) e/ou, um para contato NF (normalmente fechado). Normalmente esses sensores possuem um sistema de proteção caso sejam invertidos os fios de ligação positivo e negativo, assim não danifica o sensor, no entanto, também não possibilita o funcionamento do dispositivo. Além disso, possuem proteção contra tensões reversas, que é feita por um diodo livre ligado ao transistor de saída. É muito importante na utilização de sensores indutivos especificar a distância sensora, campo ajustável, repetibilidade e mínima distância do alvo (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Os sensores indutivos (Figura 12) apresentam características comuns independentemente do tipo de aplicação, sendo elas: não conter peças móveis, possuir alta precisão na repetição do ponto de comutação, ser totalmente vedado possibilitando o seu uso em ambientes agressivos. Eles são muito utilizados na contagem de peças, controle de presença ou ausência, no lugar de fim de cursos, detecção de passagem e de posicionamento. Essas possibilidades de utilização são devido a sua velocidade de ataque e o funcionamento elevado; automatismo estático e suportando condições ambientais severas, como no contato com poeira, umidade, óleo e vibrações (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 12 - Modelos de sensores indutivos.



Fonte: METALTEX (2021)

2.4.3 Atuadores

Soloman (2012) destaca que os atuadores são dispositivos que têm a função de acionar um equipamento de controle de processo utilizando sinais eletromecânicos, elétricos, hidráulicos e pneumáticos. Podem ser citados como exemplos de atuadores: válvulas, relés, cilindros, motores e solenoides (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Esses dispositivos possuem como uma de suas características o fornecimento de energia mecânica necessária para a movimentação sobre o sistema controlado e, como exemplo de atuadores podem ser citados os motores lineares ou rotativos (FILIPPO FILHO, 2014).

Segundo Almeida, Moraes e Seraphim (2016), os relés (Figura 13) são muito utilizados como atuadores onde é preciso operar uma carga de maior potência, porém, no acionamento dessa carga é disponibilizada uma corrente muito baixa. Os relés são como chaves interruptor residencial, a diferença é que os interruptores são acionados por um botão e os relés necessitam

de um campo eletromagnético. Esse campo é formado através de uma bobina onde circula corrente, e atrai a chave fazendo com que ela seja acionada. Sendo possível controlar a passagem de corrente na bobina, possibilita ligar e desligar o relé.

Figura 13 - Relé marca Metaltex.



Fonte: ROBOCORE TECNOLOGIA (2021)

Existem também os atuadores hidráulicos, que são dispositivos mecânicos capazes de converter a energia fluida em energia mecânica. Esses atuadores podem ser encontrados no formato de motores, cilindros e osciladores. Os cilindros mais utilizados são: os de simples ação, e os de dupla ação (Figura 14). Há ainda os cilindros de haste dupla, o telescópio, o tandem entre outros (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018).

Figura 14 - Cilindro Hidráulico.



Fonte: FIORIO; HENRIQUE (2016)

O autor Fialho (2015) destaca que as eletroválvulas (Figura 15) são válvulas de comando elétrico, controladas através de impulso elétrico que é originado por uma bobina elétrica CA (corrente alternada) ou CC (corrente contínua). A bobina solenoide é fixada pelo seu centro à estrutura da válvula, e no centro da bobina fica um núcleo ferromagnético móvel

que, conforme a bobina é energizada, esse núcleo se movimenta fazendo a abertura e fechamento da válvula.

Figura 15 - Modelos de Eletroválvula.



Fonte: ALFAMATEC (2021)

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho foi baseada primeiramente em uma visita técnica a uma oficina e revenda de máquinas agrícolas, onde foi possível identificar o modelo de colhedora e plataforma a serem utilizados para implementação. Neste período também foram detectadas as variáveis que controlam o sistema e os dados técnicos dos componentes que o integram. Após essa etapa, foram identificadas as especificações e projetos do sistema embarcado, com o objetivo de suprir a necessidade da automação do sistema de flutuação e altura automática da barra de corte da plataforma. Em seguida foi realizado simulações computacionais, executado testes parciais em bancada e realizado a construção de um protótipo para validação do sistema. Na sequência foi realizado o levantamento dos custos da placa eletrônica e estimativa de custos da implementação do sistema do módulo flutuante.

3.1 Sistema da Plataforma

Na colheita de grãos, um dos grandes problemas é a perda da produção na lavoura, devido, entre outros fatores, a barra de corte da plataforma da colhedora realizar o corte em uma altura imprópria, deixando a produção no caule da planta. Em outras situações, o trabalho noturno dificulta a realização da operação da plataforma corretamente.

Neste aspecto, buscando ter maior eficiência na retirada da produção da lavoura, a automatização da altura da barra de corte da plataforma é fundamental. A colhedora TC5070, da marca New Holland, possui este sistema de nivelamento automático, porém, o mesmo é feito através de sistema pneumático, o qual precisa ser lubrificado constantemente, não podendo apresentar vazamento em seu sistema de ar comprimido, tornando o sistema lento e ineficiente. Deste modo, pensando em aumentar a eficiência do sistema de sensoriamento da barra de corte, tornar o sistema totalmente elétrico resulta em uma operação mais rápida e com pouca manutenção. Além disso, o baixo custo na aquisição deste sistema e a pouca necessidade de manutenção são vantagens do projeto.

3.1.1 Definição da colhedora e plataforma a ser implementada

A colhedora a ser utilizada na implementação é da marca New Holland, modelo TC5070 (Figura 16), com plataforma de corte flexível de 20 pés, também da marca New Holland. Esta plataforma possui sistema de nivelamento automático através de sensoriamento pneumático e, a colhedora conta com a alavanca multifunção apresentada na figura 17.

Figura 16 - Colhedora New Holland modelo TC5070.



Fonte: TAISA (2017)

Figura 17 - Alavanca multifunção da colhedora modelo TC5070.



Fonte: O autor (2021)

Tendo em vista que esta plataforma de corte apresenta um sistema de sensoramento pneumático, o qual a parte mecânica já se encontra pronta para implementar a automação, basta retirar os sensores pneumáticos e fixar os sensores elétricos em suas devidas posições.

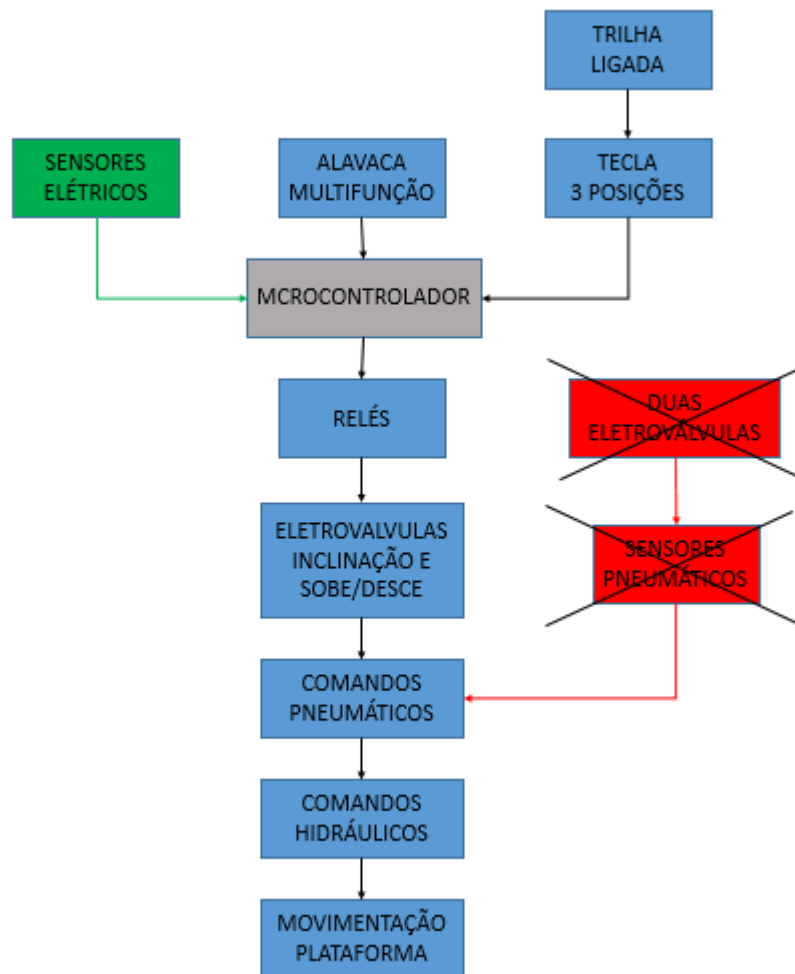
O sistema de automação a ser desenvolvido no presente trabalho, pode ser utilizado em toda a linha TC da marca New Holland, pois esta linha apresenta um sistema pneumático na atuação do sistema hidráulico e sensoramento pneumático na plataforma. No entanto, nas colhedoras que não possuem a alavanca multifunção, é necessário implementar a alavanca e substituir as válvulas pneumáticas com comando manual por válvulas eletropneumáticas.

3.1.2 Descrição do funcionamento do projeto do sistema da plataforma de corte

O projeto de automação deste sistema possui por característica substituir a parte de sensoramento do solo que é feita através de sensores pneumáticos, por um sistema totalmente elétrico utilizando sistema embarcado, o qual conta com um microcontrolador e sensores indutivos, que apresentam uma resposta mais rápida e eficiente. Nesse processo são eliminadas duas eletroválvulas, quatro sensores pneumáticos e toda a linha de ar comprimido (mangueiras) na plataforma.

Conforme a figura 18, é possível observar a modificação que foi realizada no projeto, ocorrendo a adição de um módulo de controle, que possui uma placa contendo um microcontrolador PIC16F877A, que recebe sinais da tecla três posições, da alavanca multifunção e dos sensores elétricos com característica indutiva. O microcontrolador tem a função de interpretar os sinais de comando gerados em suas entradas e executar as tarefas conforme foi programado pelo projetista, disponibilizando nas saídas sinais que vão atuar nos relés e, estes por sua vez, alimentam os bornes de saída da placa que irão comandar as eletroválvulas. Estas, através do sistema pneumático, comandam o sistema hidráulico movimentando a plataforma.

Figura 18 - Diagrama das modificações do projeto utilizando microcontrolador.



Fonte: O autor (2021)

3.2 Automação do Sistema

A automação do sistema foi realizada utilizando um microcontrolador e sensores indutivos, tornando o sensoriamento mais rápido e de custo baixo. A tecnologia de microcontrolador possibilita a automação de várias tarefas simultaneamente, isso ocorre através de um código que é gravado em sua memória. Conforme o microcontrolador recebe sinais em suas portas de entrada, interpreta a informação e executa a tarefa conforme definido pelo projetista em sua programação. Ao utilizar sensores indutivos para realizar o sensoriamento, o sistema torna-se mais eficiente, tendo em vista sua menor necessidade de manutenção. Estes dispositivos são compatíveis para emitir informação de cada situação para o microcontrolador. Já para executar os comandos conforme o sistema define, são utilizados os relés como atuadores.

3.3 Dispositivos selecionados para automação

Após a análise e compreensão de como é feito as operações da barra de corte da plataforma, realizou-se a seleção dos dispositivos, buscando utilizar o máximo possível os componentes já existentes na colhedora, tornando o custo de uma possível instalação do sistema mais baixo.

Os principais dispositivos utilizados para a automação da plataforma são abordados dentro deste capítulo.

3.3.1 Definição do microcontrolador.

A definição do microcontrolador foi feita analisando sua arquitetura, a qual irá definir suas possíveis utilizações. A escolha do PIC16F877A ocorreu pelo fato de que sua arquitetura possibilita a utilização nesta situação, visto que ele possui velocidade de processamento, periféricos e memória, satisfazendo assim as necessidades deste projeto. Além disso, esse componente eletrônico é de fácil aquisição no mercado nacional.

3.3.2 Definição do sensor

Ao utilizar sensores indutivos que são compatíveis para operar com o microcontrolador, eles irão comportar-se como chave fim de curso, realizando o sensoriamento da posição da plataforma, tornando o sistema mais eficiente, com menor necessidade de manutenção e poderão trabalhar em ambientes agressivos.

Na simulação em bancada e na montagem do protótipo, utilizou-se de quatro sensores indutivos, modelo I18-5-DPC, da marca Metaltex, tubular PNP, tensão de alimentação 12 Vcc, corrente saída 200 mA, distância sensora 5 mm, conforme figura 19.

Figura 19 - Sensor indutivo.



Fonte: O autor (2021).

Os sensores foram fixados na plataforma de corte, sendo que dois deles realizou-se o posicionamento na estrutura de fixação nas laterais da plataforma da colhedora, os quais são

responsáveis pelo sensoriamento do flutuante da plataforma. Além disso, dois deles foram fixados apenas na lateral direita da plataforma, onde possui um sistema mecânico metálico acoplado, que permitem o sensor captar a posição da plataforma em relação ao solo.

3.3.3 Definição do atuador

Os atuadores selecionados são relés de 5 Vcc 10 A (Figura 20), que irão atuar na energização das eletroválvulas pneumáticas.

Figura 20 - Relé 5 Vcc.



Fonte: SMART KITS (2021)

3.4 Desenvolvimento do projeto

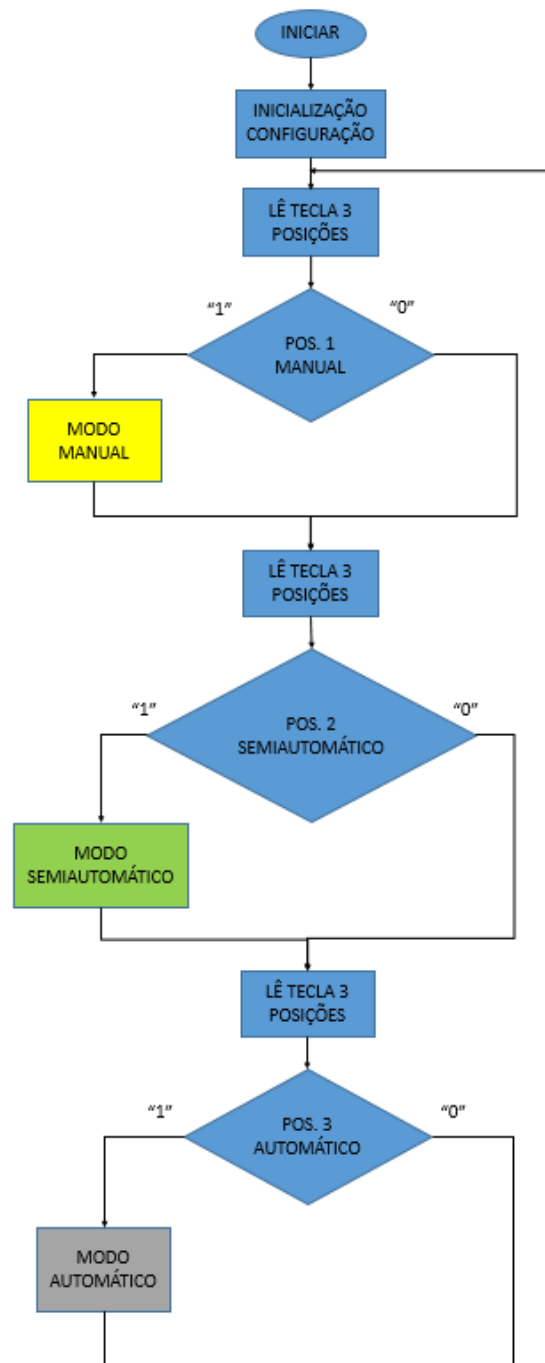
O desenvolvimento do projeto seguiu as seguintes fases: elaboração do fluxograma; desenvolvimento do código; desenvolvimento do circuito no SimulIDE (Simulação computacional); simulação em bancada; projeção e confecção da placa do módulo flutuante; projeto do protótipo; projeção e confecção da alavanca multifunção; montagem do protótipo, e levantamento do custo do sistema.

3.4.1 Desenvolvimento do fluxograma

O fluxograma é um passo muito importante no projeto, pois neste momento o projetista define o que será necessário escrever no código, para que o microcontrolador execute as tarefas corretamente.

A definição do fluxograma foi feita verificando as entrada e saídas do sistema, e compreendendo como é feito na operação da máquina, resultando no fluxograma principal da figura 21, onde a tecla de três posição seleciona como o sistema vai operar, que pode ser: modo manual, modo semiautomático ou modo automático.

Figura 21 - Fluxograma Principal.

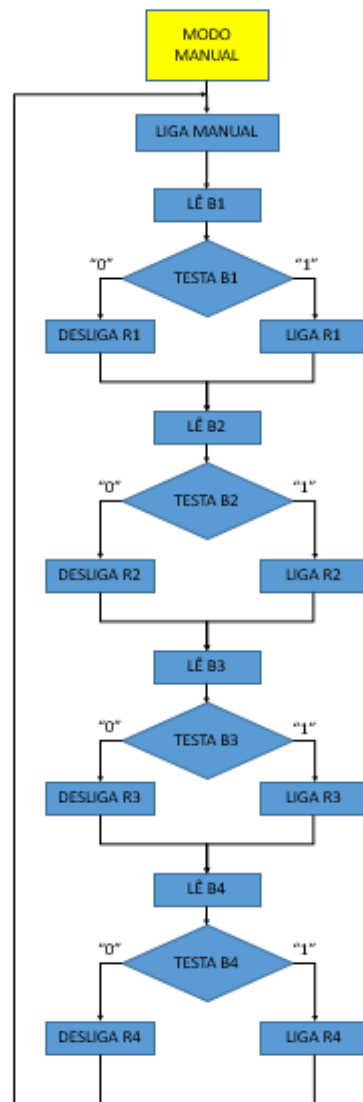


Fonte: O autor (2021)

Na alavanca multifunção seus botões apresentam as seguintes funções: B0 é o botão que liga o automático; B1 é o botão que desliga o automático e de subir plataforma; B2 é o botão de descer plataforma; B3 é o botão de inclinar lado direito da plataforma; B4 é o botão de inclinar lado esquerdo da plataforma; S1 é o sensor de subir plataforma; S2 é o sensor de descer plataforma; S3 é o sensor de inclinar lado direito da plataforma e S4 é o sensor de inclinar lado esquerdo da plataforma.

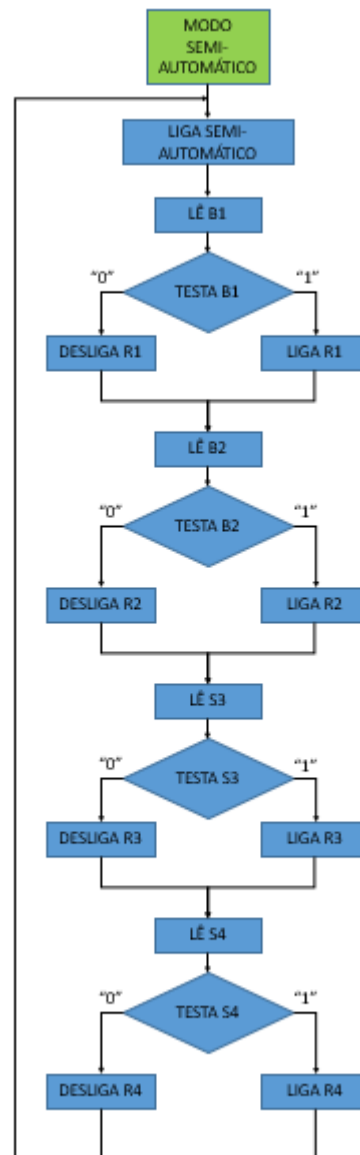
Quando a tecla está na posição 1, o sistema está operando de modo totalmente manual, o qual pode ser observado no fluxograma na figura 22, onde o operador é quem define através dos botões B1, B2, B3 e B4 a altura e inclinação da plataforma.

Figura 22 - Fluxograma Modo Manual.



No momento que o operador passa a tecla para a posição 2, o sistema opera no modo semiautomático (Figura 23), onde o operador através da tecla B1 e B2 comanda a altura da plataforma e os sensores S3 e S4 comandam o flutuante da plataforma.

Figura 23 - Fluxograma Modo Semiautomático.

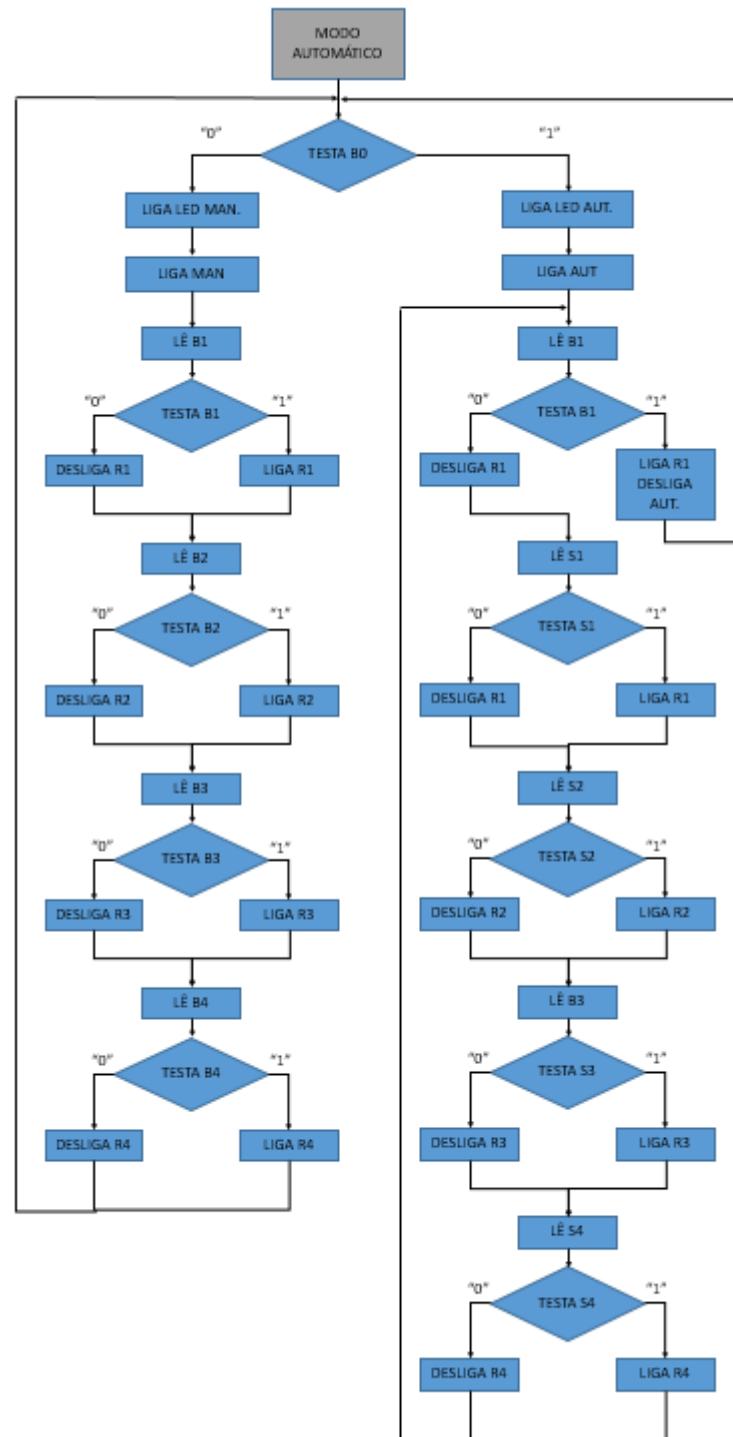


Fonte: O autor (2021)

Já quando a tecla está na posição 3, o sistema opera de modo automático (Figura 24). Esta posição possibilita duas formas de operação: uma forma totalmente manual, onde o operador é quem define a altura e flutuação da plataforma através dos botões B1, B2, B3 e B4, ou de uma forma totalmente automática quando o operador pressiona o botão B0 e o sistema opera de modo automático. Neste caso os sensores S1, S2, S3 e S4 são quem definem a altura

e flutuação da plataforma. Porém, quando o operador pressiona o botão B1 o sistema volta a operar de modo manual.

Figura 24 - Fluxograma Modo Automático.



Fonte: O autor (2021)

3.4.2 Desenvolvimento do código

O Código de programação é a forma que o projetista utiliza para definir o que o microcontrolador precisa executar. Através da linguagem de programação o projetista desenvolve o código, um compilador interpreta esse código e o transforma em linguagem de máquina. Desta forma, a linguagem de máquina quando gravada no microcontrolador, fará com que o mesmo execute as tarefas conforme projetado.

Na elaboração do código desenvolvido foi utilizado o compilador PIC C Compiler CCS e a linguagem de programação usada foi a linguagem C, baseando-se nos fluxogramas descritos anteriormente.

3.4.3 Simulação computacional

O circuito para testes computacionais foi desenvolvido no programa SimulIDE-0.4.14-SR4, que permite criar o circuito com os componentes eletrônicos que estão em sua biblioteca, os quais quando programados corretamente possibilitam simular computacionalmente os circuitos. Já na configuração do microcontrolador, basta importar o arquivo hex. gerado pelo compilador. Desta forma, possibilitou visualizar os resultados muito próximo do real, sem precisar montar o circuito fisicamente, poupando tempo e, conseqüentemente, agilizando o projeto.

3.4.4 Interface do sensor com o microcontrolador

O sensor trabalha com alimentação da bateria e, estes quando instalados na plataforma da colhedora, utilizarão sua tensão que, devido ao alternador, pode chegar até 13,5 V. Conseqüentemente, o retorno do mesmo é o valor da tensão de alimentação e, como as portas do microcontrolador suportam até no máximo 5,5 V, é preciso reduzir a tensão. Para isso, utilizou-se a técnica de divisor de tensão.

Desta forma, segundo a técnica de divisor de tensão primeiramente define-se o resistor R1, o qual foi escolhido com seu valor de 10k Ω , pois é um valor comercial. Posteriormente aplica-se a fórmula de divisor de tensão para encontrar o valor do resistor R2. A equação (1) pode ser observada a seguir:

$$R_2 = \frac{V_{Saída} \cdot R_1}{V_{Entrada} - V_{Saída}} \quad (1)$$

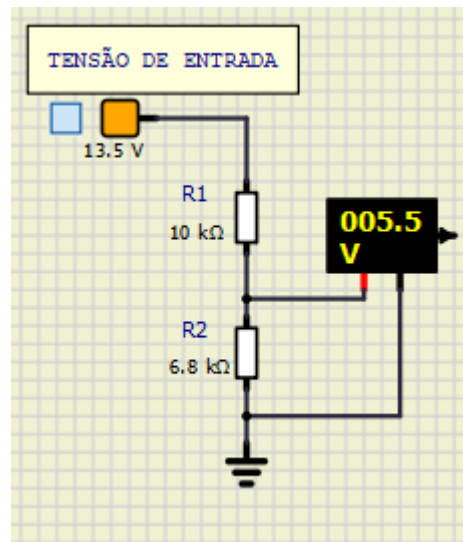
Ao aplicar a equação descrita, encontrou-se o valor de R2 igual a 6.875Ω e, utilizando um valor comercial define-se o resistor R2, sendo de $6k8 \Omega$. Aplicando a equação (2) é possível chegar ao valor da tensão do resistor R2:

$$V_{R2} = \frac{V_{Entrada} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Após a aplicação da equação (2) apresentada anteriormente, encontrou-se o valor da tensão no resistor R2 que é igual a 5,46 V, arredondando para uma casa depois da vírgula R2 igual a 5,5 V. Com essa tensão é possível realizar o acionamento do microcontrolador.

Ao realizar a simulação no programa SimulIDE (Figura 25), os valores calculados resultaram em valores iguais aos valores simulados.

Figura 25 - Simulação do circuito divisor de tensão.



Fonte: O autor (2021)

3.4.5 Interface do microcontrolador com os atuadores

Para o acionamento de saída foi utilizado uma placa Shield de Relé (Figura 26) que possui quatro relés, os quais são acionados pelas portas de saída do microcontrolador. Este circuito conta com optoacopladores que isolam totalmente o circuito de acionamento do relé com os demais circuitos, protegendo assim as saídas do microcontrolador.

Figura 26 - Shield de Relé.



Fonte: O autor (2021)

3.4.6 Simulação em bancada

A simulação em bancada foi desenvolvida após os testes computacionais serem realizados e os resultados atenderem plenamente ao esperado.

Para realizar a montagem em bancada no laboratório, foram utilizados os seguintes componentes:

- Computador;
- PICKIT 3 MPLAB IDE;
- Protoboard;
- Fonte da marca Minipa modelo MPL-3305M;
- Microcontrolador (PIC 16F877A);
- Suporte para microcontrolador;
- Capacitores de cerâmica de 22 pF 50V;
- Cristal de 4 MHz;
- Sensores indutivos modelo I18-5-DPC (Marca Metaltex) ;
- Resistores;
- Tecla três posições;
- Botões tátil;
- LEDs;
- Relé shield com quatro relés;
- Jumpers para fazer as ligações;

- Multímetro para realizar medições.

Por sua vez, para gravar o código desenvolvido no programa PIC C Compiler CCS no microcontrolador, utilizou-se o PICKIT 3 MPLAB IDE. Isso ocorreu através da conexão do microcontrolador no computador e através da porta USB para gravar o código e, posteriormente, iniciou-se a montagem do circuito na protoboard.

A alimentação do sistema contou com uma fonte com regulação de tensão e corrente, da marca Minipa, modelo MPL-3305M. Esta apresenta três saídas, sendo que são utilizadas duas delas, as quais possibilitam a regulação. Uma delas alimenta o circuito do microcontrolador em 5 V, enquanto a outra alimenta o circuito dos sensores em 12 V.

Ao finalizar a montagem dos circuitos passou-se a realizar testes acionando os botões tácteis e a tecla três posições para dar os comandos manuais, substituindo a função da alavanca multifunções. Além disso, utilizou-se um cubo metálico para realizar o acionamento dos sensores indutivos, os quais fizeram a simulação das partes metálicas do sistema mecânico da plataforma.

3.4.7 Desenvolvimento da placa

Após a conclusão dos testes realizados em bancada, e com os resultados positivos no desenvolvimento do sistema, iniciou-se a projeção do módulo, que foi inserido na validação em prototipagem.

O desenvolvimento do módulo foi feito inicialmente a partir da projeção da alimentação do microcontrolador, que necessita de tensão 5 V. Desta forma, a tensão da bateria da máquina precisou ser baixada para 5 V, tensão essa necessária para alimentar o microcontrolador. Esse mesmo circuito contou com um LED que indica quando o módulo está energizado e, além disso, foi inserido um diodo de proteção na entrada da fonte, o qual protege o circuito caso a alimentação seja invertida.

A partir disso, foi projetado os circuitos de acionamento das portas de entrada do microcontrolador, os quais são responsáveis pela comunicação que irá gerar o acionamento dos botões da alavanca multifunção, da chave três posições e os dos sensores indutivos. A técnica utilizada no acionamento das portas de entrada do microcontrolador foram: Pull Up e divisor resistivo. A técnica Pull Up consiste em elevar a porta de entrada do microcontrolador ao nível alto quando acionado os botões ou a tecla três posições. Já a técnica de divisor resistivo é utilizada para o acionamento dos sensores, pois são alimentados pela tensão da bateria e,

necessita desta forma, reduzir a tensão para no máximo 5,5 V, com o intuito de não danificar as portas de entrada do microcontrolador.

Na sequência passou-se a projetar os circuitos de saída, com o objetivo de amplificar o sinal de saída do microcontrolador. Nesses circuitos foram utilizados opto-acopladores modelo 4N35, os quais são responsáveis pela isolação do circuito de comando, do circuito de força. Já para amplificar a tensão utilizou-se um transistor modelo BC548, que realiza o acionamento do relé. A fim de evitar danos na bobina do relé, utilizou-se um diodo em paralelo com a bobina. Por fim, no circuito foi introduzido também um LED, que ligará quando acionar o relé.

Com o objetivo de melhor visualização do modo de operação que estará selecionado, projetou-se um circuito de 3 LEDs indicadores, os quais serão acionados de acordo com a função selecionada, sendo elas: manual, semiautomático e automático.

Tendo em vista que o módulo possibilitará a gravação/atualização de software a campo, projetou-se também um circuito, com o objetivo de suprir essa necessidade.

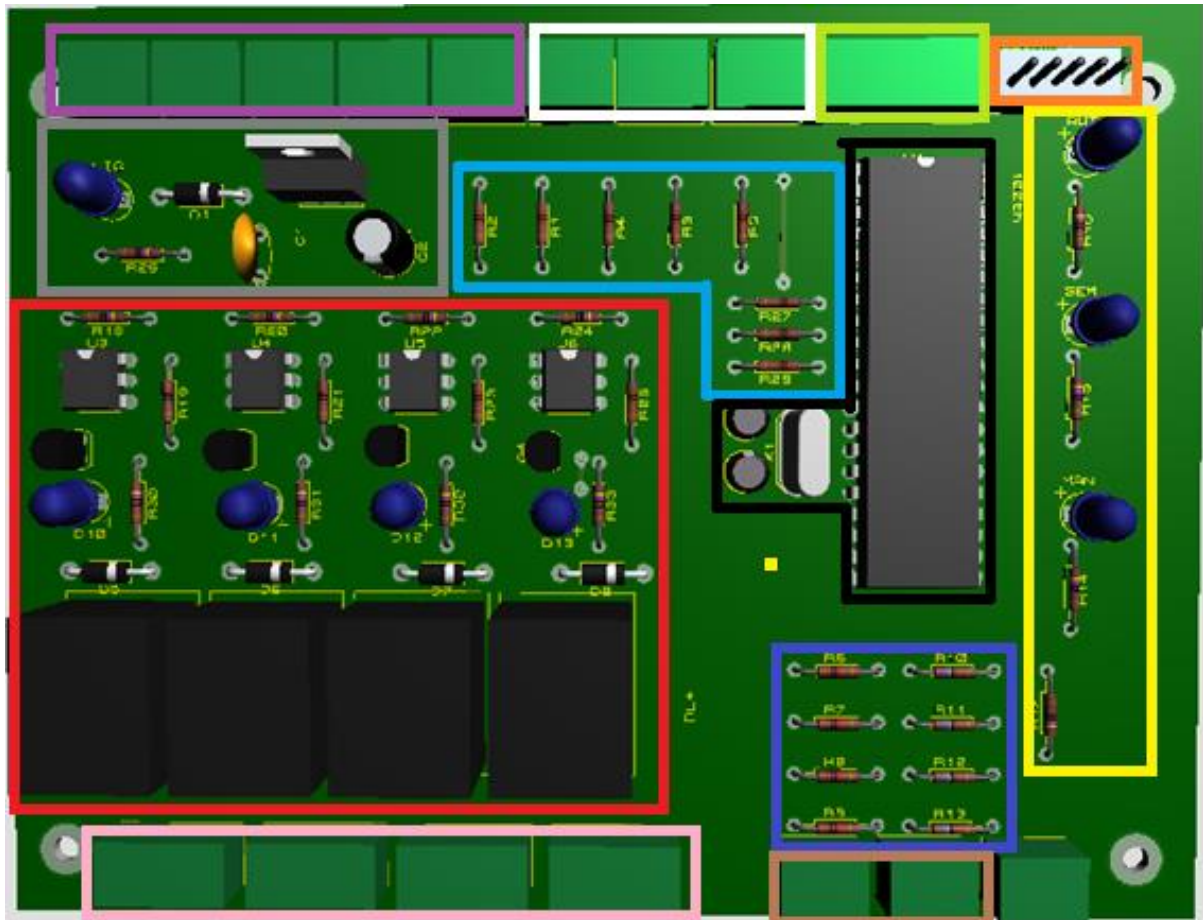
A placa foi projetada no programa Proteus, e para melhor visualização e compreensão dos circuitos projetados realizou-se a indicação de cada circuito, por meio da edição da imagem gerada pelo programa na opção de visão 3D, em que é possível ser visualizada através da figura 27.

Cada circuito apresenta diferente coloração para melhor distinção e compreensão, estão descritos a seguir a coloração com sua respectiva indicação:

- Cinza: circuito de alimentação do microcontrolador;
- Azul claro: circuito de acionamento dos botões;
- Azul escuro: circuito de acionamento dos sensores;
- Vermelho: circuito de amplificação das saídas;
- Preto: circuito do microcontrolador;
- Amarelo: circuito de indicação do modo de operação;
- Roxo: bornes de entrada 12 V e bornes de alimentação dos sensores;
- Branco: bornes para ligar a alavanca multifunção;
- Verde claro: bornes de ligação da tecla 3 posições;
- Laranja: os conectores para gravação a campo;
- Rosa: bornes das saídas dos relés;
- Marrom: bornes de retorno dos sensores;

Já o borne para ligar o LED no painel da colhedora, que indica modo automático operando, não possui indicação e encontra-se canto inferior direito da figura 27.

Figura 27 - Projeto da placa com indicação de seus circuitos.

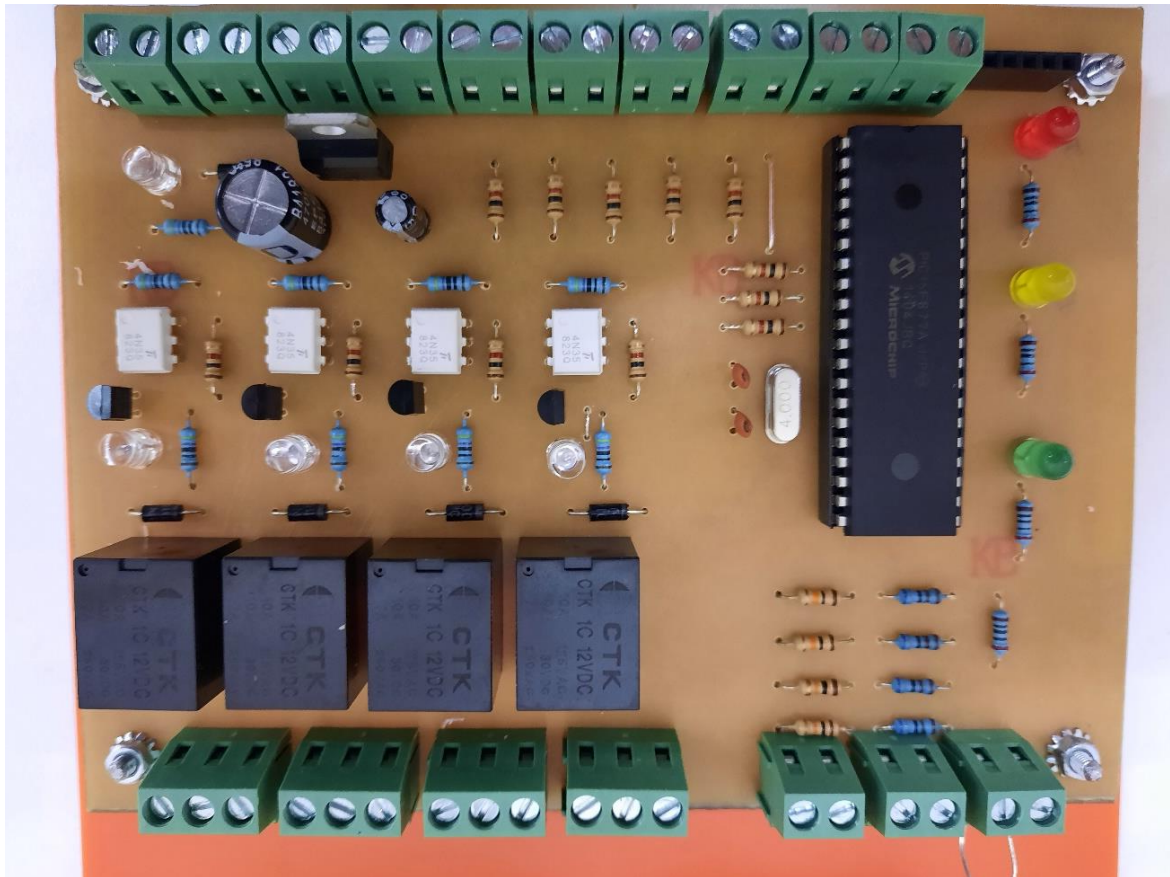


Fonte: O autor (2021)

3.4.8 Confeção da placa

Com a conclusão da projeção da placa no programa Proteus, realizou-se a confecção da mesma. Executou-se a impressão das trilhas em uma folha de papel foto e, com o auxílio de um aquecimento de contato, foi transferida a impressão para uma placa de cobre. Na sequência, realizou-se a corrosão da mesma, por meio da imersão da placa em percloroeto de ferro. Para realizar a retirada do carbono restante do processo, ocorreu a limpeza das trilhas para posterior realização da perfuração da placa. Com esse processo concluído, realizou-se também a pintura com um verniz a fim de evitar oxidação das trilhas e, após a secagem, realizou-se também a solda dos componentes na placa. O processo concluído pode ser observado por meio da figura 28.

Figura 28 - Placa do módulo finalizada.

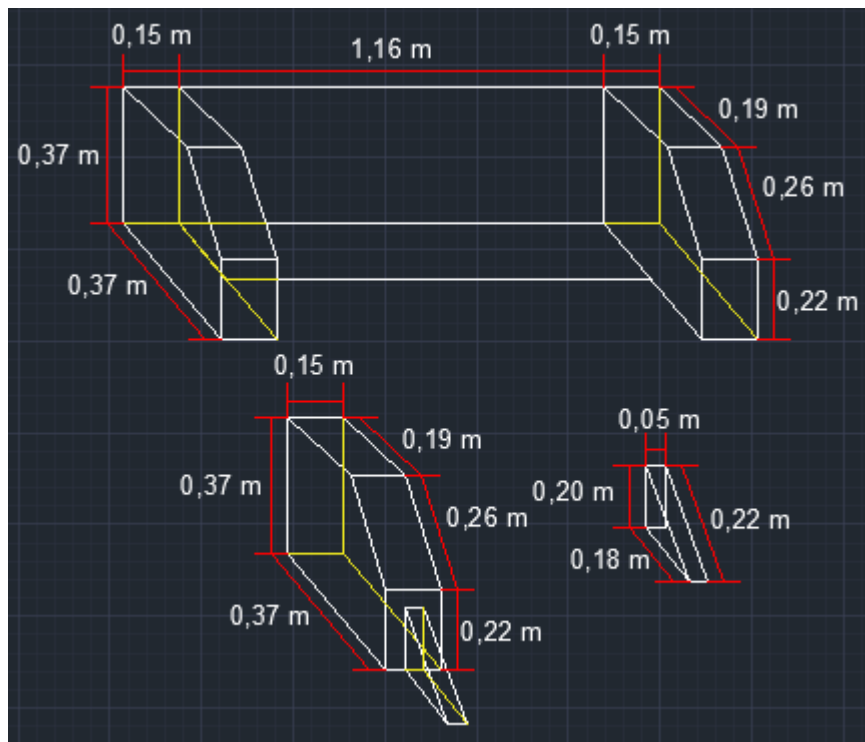


Fonte: O autor (2021)

3.4.9 Projeto do protótipo

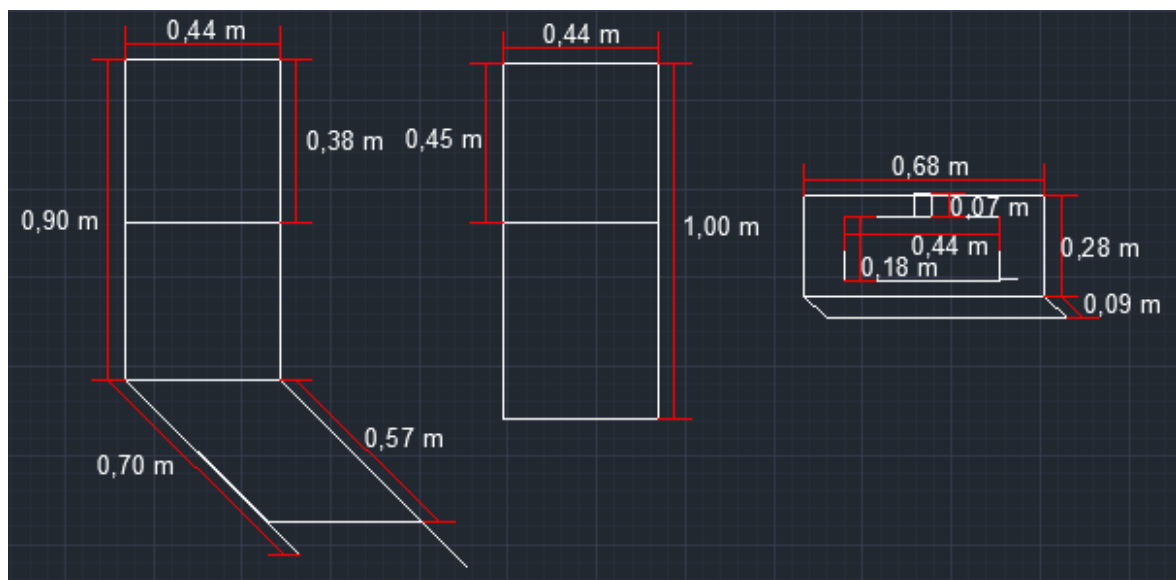
A confecção do protótipo exigiu conhecimentos prévios de uma colhedora agrícola, bem como suas funcionalidades, principalmente com ênfase nas partes mecânicas da mesma, as quais foram projetadas. A partir disso, iniciou-se o planejamento para posterior confecção, o qual necessitou da realização de um esboço das peças, para que em seguida fosse realizado a utilização do programa AutoCAD. Tal programa proporcionou uma melhor visualização das peças a serem projetadas, as quais estão representadas na sequência, onde a figura 29 representa o projeto da plataforma, na figura 30 está representado o projeto da base e pescoço do protótipo, e na figura 31, a visão lateral do projeto do protótipo.

Figura 29 - Projeto da plataforma.



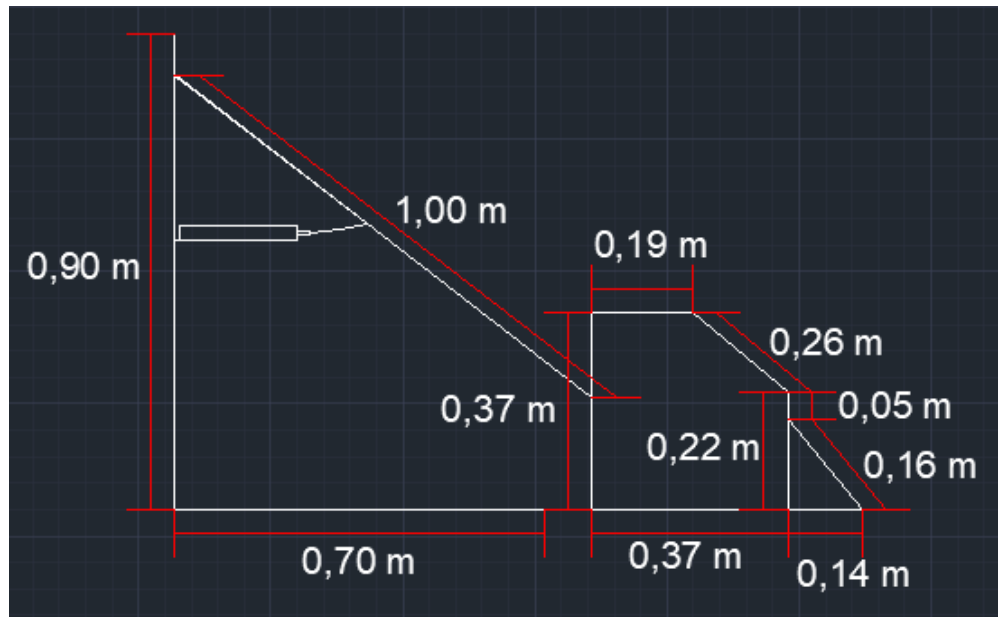
Fonte: O autor (2021)

Figura 30 - Projeto da base e pescoço do protótipo.



Fonte: O autor (2021)

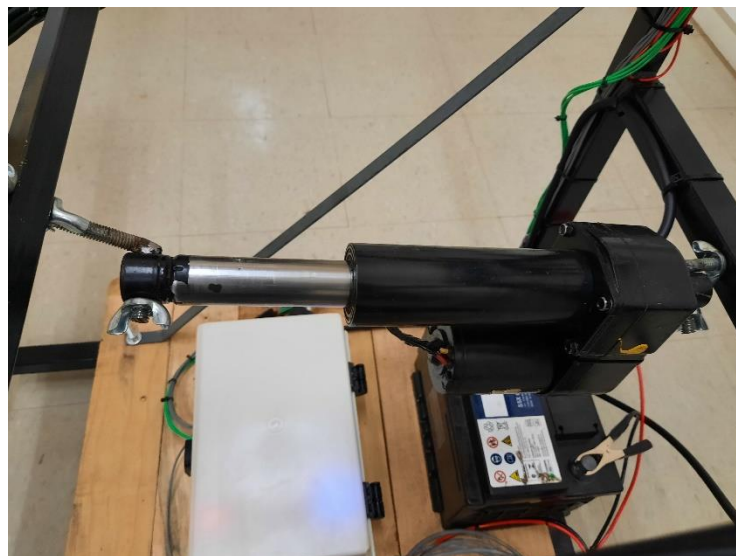
Figura 31 - Visão lateral do projeto do protótipo.



Fonte: O autor (2021)

Implementou-se também ao projeto dois pistões lineares elétricos, os quais são responsáveis pela movimentação da plataforma. Um dos pistões utilizados é da marca Tollo Linear, modelo LA 10, tensão de alimentação 12 VDC, corrente máxima de 19 A, carga máxima 1100 N e, pode ser visualizado na figura 32. O outro é pertencente a marca TThomson, modelo LA 1, tensão de alimentação 12 VDC, corrente máxima de 8,8 A, carga máxima de 340 N e pode ser visualizado na figura 33.

Figura 32 - Pistão linear modelo LA 10.



Fonte: O autor (2021)

Figura 33 - Pistão linear modelo LA 1.



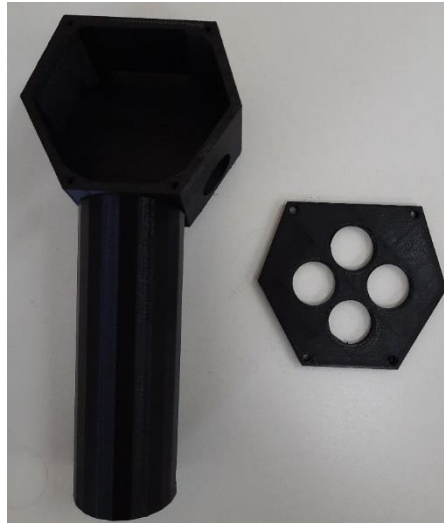
Fonte: O autor (2021)

Para que o acionamento destes pistões fosse possível, foi necessário também adicionar ao projeto dois drives modelo Ponte H 43 A – BTS7960, os quais suportam a corrente de acionamento dos pistões e também consegue realizar a reversão do acionamento dos motores dos pistões lineares.

3.4.10 Projeção e impressão da alavanca multifunção

O protótipo contou com um componente que simula a alavanca multifunção da colhedora. Para tanto, foi projetado um modelo de alavanca no programa Tinkercad e, na sequência, realizado a impressão 3D através da impressora disponível no laboratório da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Erechim, modelo: Impressora 3D Flashforge Inventor. A impressão pode ser visualizada na figura 34.

Figura 34 - Peças da alavanca multifunção impressas pela impressora 3D.



Fonte: O autor (2021)

3.4.11 Montagem do protótipo

Com a conclusão do planejamento para confecção de todas as peças que simulam a colhedora, deu-se início à montagem do protótipo onde, foi realizada a montagem da estrutura da plataforma, da estrutura do pescoço e a pintura das estruturas. Em seguida realizou-se também a fixação dos pistões lineares no pescoço, responsáveis pela movimentação da plataforma.

A plataforma do protótipo foi confeccionada a partir de conexões de PVC de 40 mm, simulando assim a estrutura original de uma plataforma. Para o fechamento das laterais da plataforma utilizou-se estruturas de MDF pela leveza do material, as quais foram utilizadas como suporte na fixação dos sensores indutivos. Já a estrutura responsável por orientar a altura desejada da plataforma foi desenvolvida com material metálico, tendo em vista sua resistência, bem como a possibilidade de acionamento dos sensores indutivos.

Após concluir a estrutura total da plataforma realizou-se a pintura da mesma, de coloração amarela, simulando uma plataforma original. A estrutura concluída pode ser vista na figura 35.

Figura 35 - Estrutura da plataforma finalizada.



Fonte: O autor (2021)

A confecção do pescoço da plataforma do protótipo foi a próxima etapa a ser realizada, onde utilizou-se de material metálico, pois apresenta maior resistência para suportar as forças geradas com a movimentação da plataforma. Para a base do suporte do pescoço, foi desenvolvido um suporte em L, com a utilização de um tubo metálico quadrado de espessura 3 x 3 cm. Já para a realização da movimentação de subida e descida da plataforma, utilizou-se de uma estrutura de tubos metálicos quadrados de 2 x 2 cm e, para a parte de inclinação que requer menor esforço, foi utilizado tubos quadros de 1,5 x 1,5 cm. Com a montagem da estrutura metálica finalizada, foi feita a sua pintura.

Além disso, confeccionou-se também uma base de madeira para alocar a bateria e o módulo, bem como foi realizada a fixação de rodas na base do protótipo, as quais possibilitam melhor deslocamento e manuseio. Para completar a estrutura, realizou-se a fixação dos dois pistões elétricos lineares, com a finalidade de realizar a movimentação da plataforma. O processo concluído pode ser observado nas figuras a seguir, onde a figura 36 representa a visão lateral, enquanto a figura 37 representa a visão frontal do pescoço da plataforma com a base de madeira e pistões fixados.

Figura 36 - Visão lateral da estrutura do pescoço, com base de madeira, e pistões fixados.



Fonte: O autor (2021)

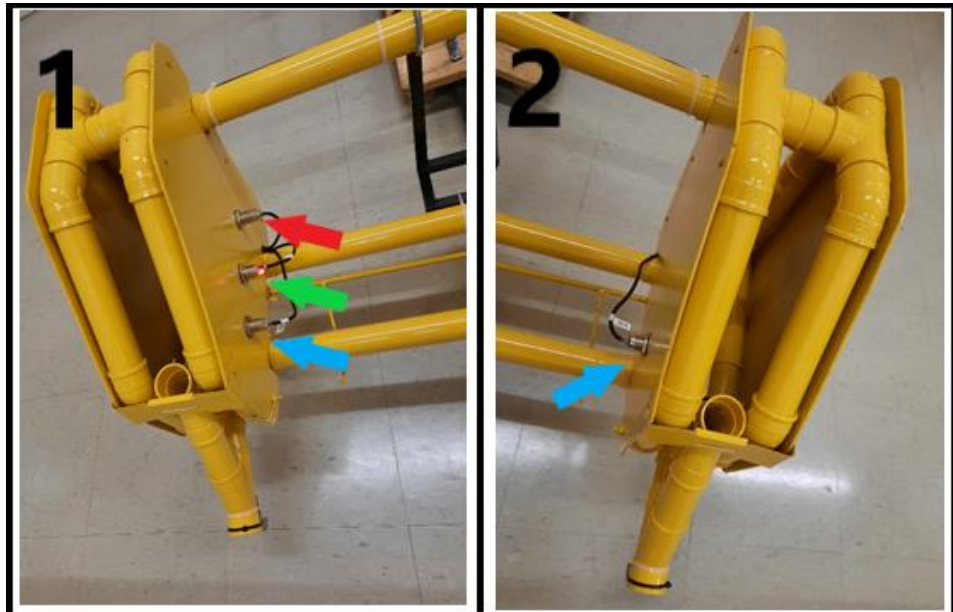
Figura 37 - Visão frontal da estrutura do pescoço.



Fonte: O autor (2021)

Na sequência, foi fixada a plataforma no pescoço, e os sensores indutivos introduzidos na plataforma. Na figura 38, pode ser visto a lateral direita da plataforma representada com o número um e a lateral esquerda da plataforma representada com o número dois. Os sensores responsáveis pelo sensoramento da altura da plataforma estão representados nessa mesma figura com flecha verde e vermelha, e os sensores identificados com as flechas azuis são responsáveis pelo sensoramento da inclinação da plataforma.

Figura 38 - Identificação dos sensores indutivos na plataforma.



Fonte: O autor (2021)

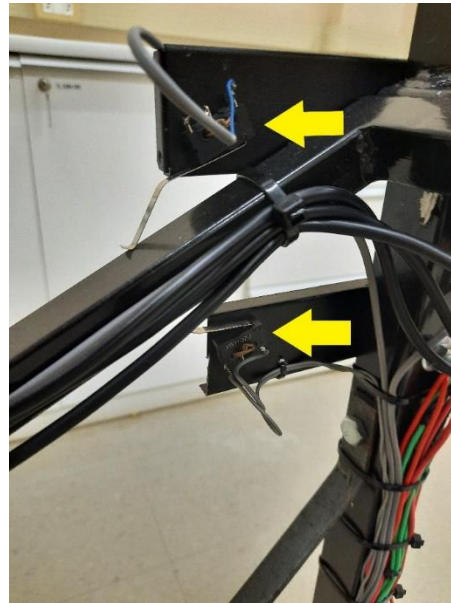
As chaves fim de curso foram fixadas com o objetivo de limitar a movimentação dos pistões lineares. Na figura 39 é possível visualizar as chaves fim de curso que limitam a inclinação da plataforma, indicadas pelas flechas vermelhas. Já na figura 40 é possível visualizar as chaves fim de curso que limitam a movimentação de subida e descida da plataforma, indicadas pelas flechas amarelas.

Figura 39 - Indicação das chaves fim de curso que limitam a inclinação da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Figura 40 - Indicação das chaves fim de curso que limitam a movimentação de subida e descida da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

A realização da montagem da alavanca multifunção foi feita na sequência, onde foram adicionados os botões B0, B1, B2, B3 e B4. Além disso, adicionou-se também a tecla 3 posições, a qual é responsável pela seleção do modo de operação, que pode ser manual, semiautomático e automático. Por fim, foi adicionado à alavanca multifunção um cabo responsável por conectá-la ao módulo. A alavanca finalizada pode ser vista na figura 41.

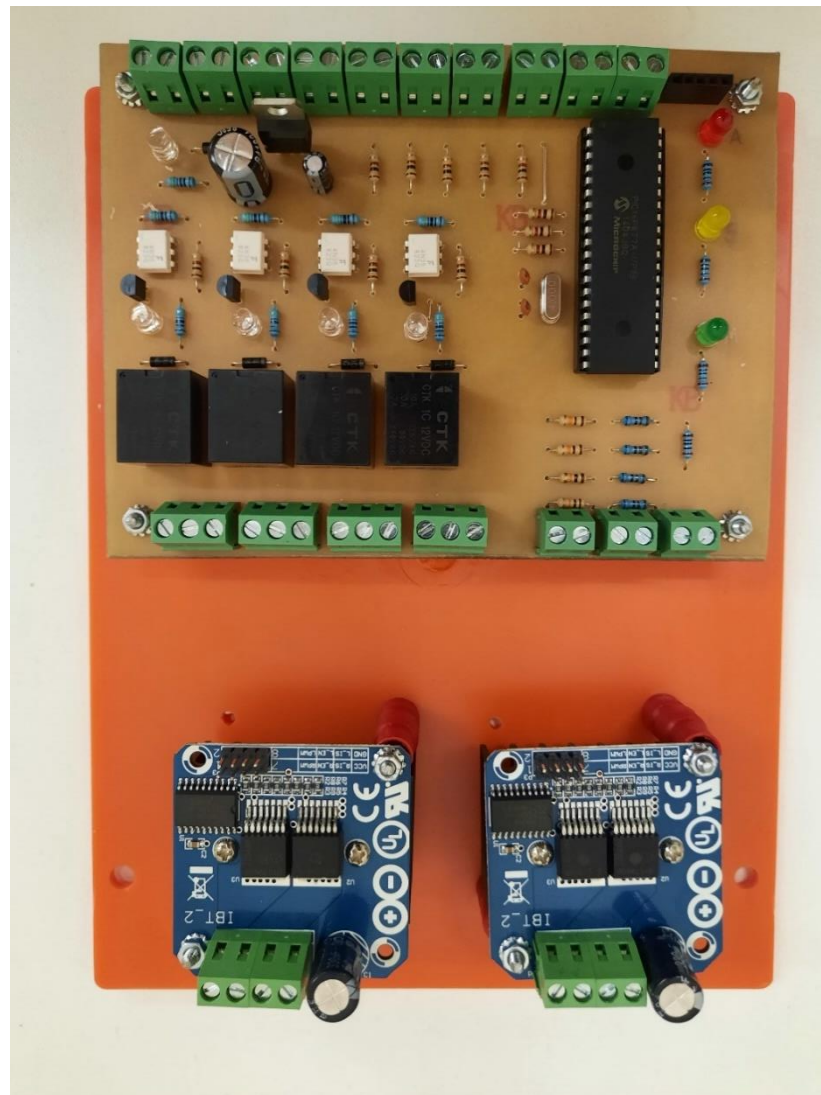
Figura 41 - Alavanca multifunção finalizada.



Fonte: O autor (2021)

A montagem da caixa responsável pela alocação da placa e dos drives foi a próxima etapa realizada, onde iniciou-se pela fixação da placa eletrônica e dos drives na placa de montagem plástica da caixa, que se encontra no seu interior. A figura 42 representa a placa de montagem com a placa eletrônica e os drives já inseridos.

Figura 42 - Placa eletrônica e drives de acionamento dos pistões.

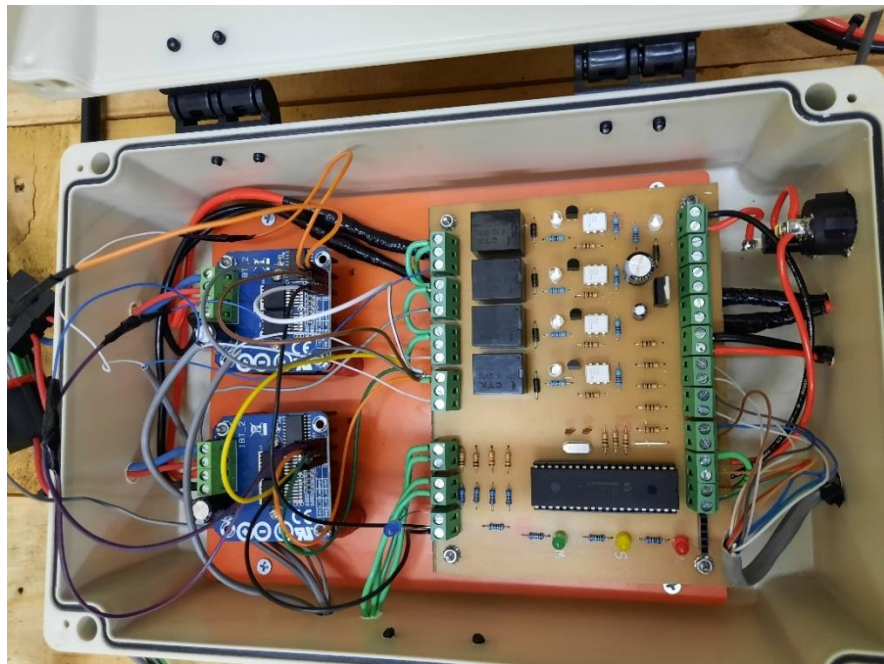


Fonte: O autor (2021)

Com a fixação das placas foi possível identificar os locais exatos que necessitavam de furação na caixa e, com essa etapa finalizada, iniciou-se a passagem dos cabos, a fixação do botão liga/desliga e do porta fusível. Logo após realizou-se as ligações dos cabos, começando pela energização da placa eletrônica, passando pela chave liga/desliga e pelo fusível de proteção da placa. Também realizou-se a energização das portas de entrada das pontes H, que são alimentadas por 12 V.

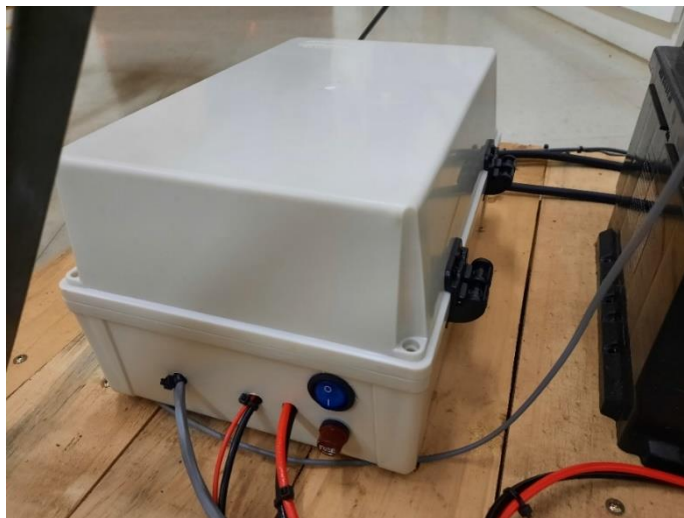
Conectou-se também à placa eletrônica o cabo da alavanca multifunção, que possui os botões e a tecla 3 posições. O acionamento dos drives ponte H foi realizado por meio dos 5 V disponíveis na placa eletrônica, os quais passam pelos relés e pela chave fim de curso. Logo após, foram conectados os cabos dos pistões lineares nas saídas dos drives ponte H, passando por fusíveis de proteção. A ligação das placas finalizadas pode ser vista na figura 43, bem como a caixa fechada na figura 44.

Figura 43 - Caixa com a placa eletrônica e drives finalizada.



Fonte: O autor (2021)

Figura 44 - Caixa fechada finalizada.



Fonte: O autor (2021)

Finalizada a montagem do protótipo, realizou-se testes para validação do módulo e do sistema desenvolvido.

3.4.12 Estimativa de custos

Os custos exclusivamente dos componentes para a confecção da placa eletrônica encontram-se descritos na tabela 1, os quais foram retirados da nota fiscal de compra. Os componentes foram adquiridos no site da loja Proesi Componentes Eletrônicos LTDA, na data de 15 de setembro de 2021. No entanto, nesse valor final da placa não consta os custos de frete, custos do projeto e da mão de obra para confeccioná-la. Deste modo, o valor da placa eletrônica ao final obteve um custo no valor de R\$ 122,02.

Tabela 1 - Custo dos componentes da placa eletrônica.

CUSTO DOS COMPONENTES DA PLACA ELETRÔNICA			
COMPONENTE	QUANTIDADE	VALOR (R\$)	TOTAL (R\$)
Borne 2T Verde – KRE 2 – Pino esquerdo	13	1,00	13,00
Borne 3T Verde – KRE 3 – Pino esquerdo	4	1,07	4,28
Diodo Retificador 1N4007	5	0,10	0,50
Capacitor Eletrolítico 470 UF/25 V	1	1,19	1,19
Capacitor Eletrolítico 0,1 UF/50 V	1	0,18	0,18
Capacitor Cerâmico 22 PF – 50 V	2	0,08	0,16
LM 7805 Circuito Integrado	1	1,88	1,88
Chave gangorra 6A	1	3,93	3,93
Resistor 1/4W – 470 R	13	0,09	1,17
Resistor 1/4W – 10 K	4	0,09	0,36
Resistor 1/4W – 1 K	12	0,09	1,08
Resistor 1/4W – 6K8	4	0,09	0,36
Soquete Cir. Integ. 40 Pinos	1	1,02	1,02
PIC 16F877A Circuito Integrado	1	46,46	46,46

Diodo LED Transp. Azul - 5mm	5	0,48	2,40
Diodo Led Amarelo – 5mm	1	0,18	0,18
Diodo Led Verde – 5mm	1	0,18	0,18
Diodo Led Vermelho – 5mm	1	0,18	0,18
4N35 – Acoplador optico	4	2,00	8,00
BC 548 - Transistor	4	0,20	0,80
Relé CTK-1C-12VDC – 10A	4	4,99	19,96
Cristal Oscilador 4 MHz	1	1,54	1,54
Barra de pino fêmea	1	0,74	0,74
Placa de Fenolite Cobreada Face Simples 15 X 15 cm	1	12,47	12,47
TOTAL R\$			122,02

Fonte: O autor (2021)

Além disso, realizou-se também uma estimativa de custo de implantação do sistema em uma colhedora New Holland TC5070 que já possui alavanca multifunção e sistema de sensoriamento da plataforma de corte pneumático, tendo em vista que não foi considerado os custos com mão-de-obra para instalação. A estimativa de custos do sistema encontra-se descrita conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Estimativa de custos do sistema flutuante elétrico.

ESTIMATIVA DE CUSTOS DO SISTEMA FLUTUANTE ELÉTRICO			
COMPONENTE	QUANTIDADE	VALOR (R\$)	TOTAL (R\$)
Placa Eletrônica (Modulo Flutuante)	1	122,02	122,02
Sensor Proximidade Indutivo, Tubular, Metaltex, l18-5-dpc	4	121,17	484,68
Chicotes (Cabos e conectores)	1	310,00	310,00
TOTAL			916,70

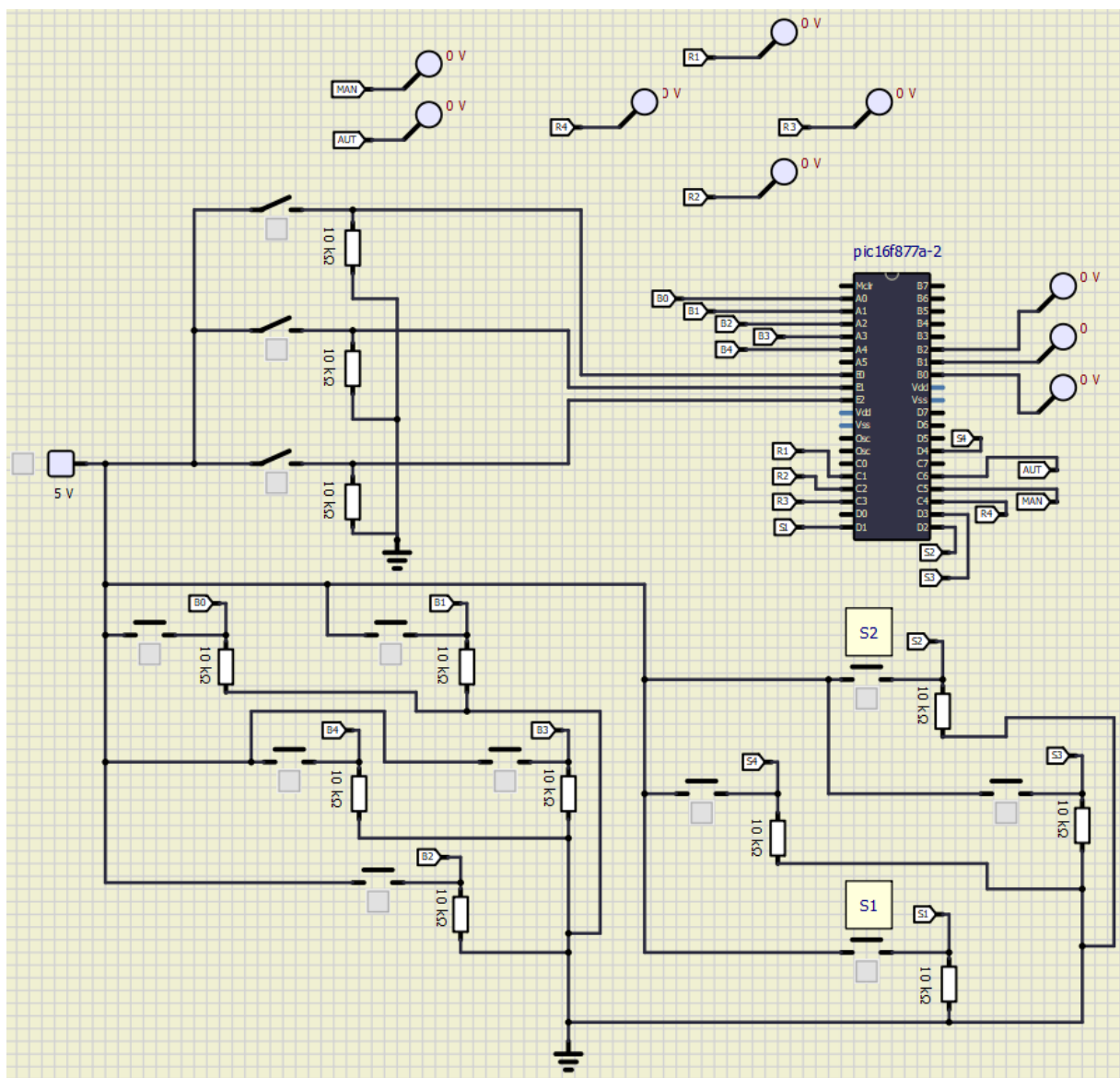
Fonte: O autor (2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta a descrição dos resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento do projeto, o qual contou com simulações computacionais e em bancada experimental, bem como sua validação em prototipagem.

Após a elaboração do código no programa PIC C Compiler CCS, foi utilizado o programa SimulIDE, que permite montar o circuito e simular cada situação do projeto. O circuito desenvolvido consta na figura 45.

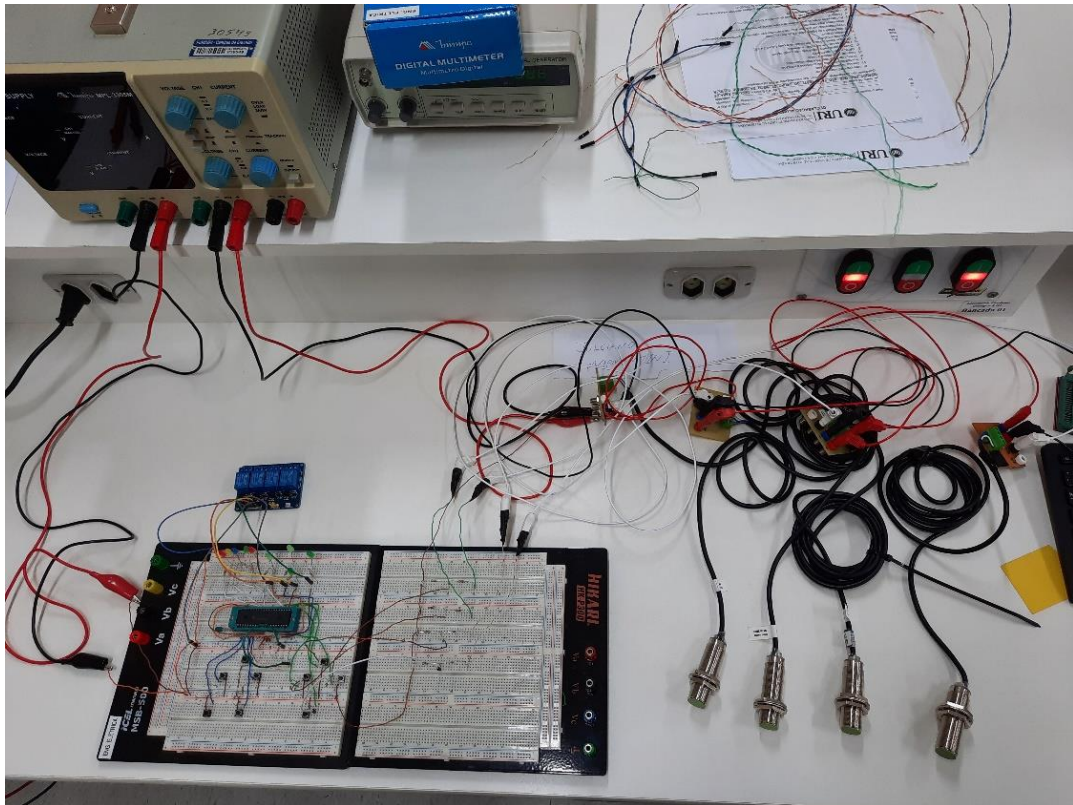
Figura 45 - Circuito para teste computacional.



Fonte: O autor (2021)

Obtendo os resultados na simulação computacional que atendeu plenamente os objetivos, iniciou-se a montagem em bancada, conforme descrito na metodologia do presente trabalho. A finalização da montagem dos testes em bancada pode ser observada na figura 46.

Figura 46 - Montagem dos testes em bancada.

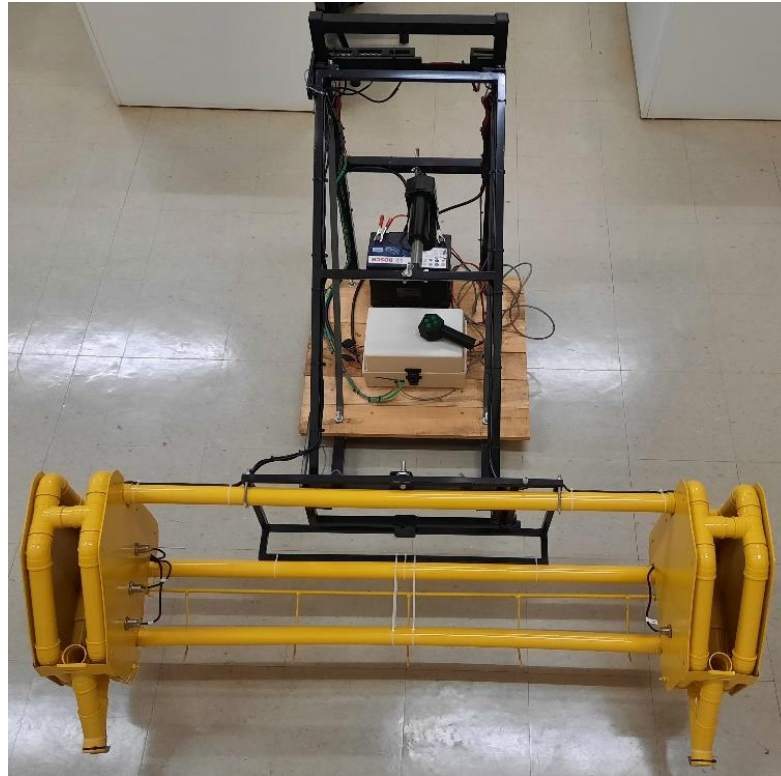


Fonte: O autor (2021)

Foi possível alcançar resultados que validaram o sistema por meio dos testes realizados em bancada, os quais são condizentes com o projeto. Desta forma, possibilitando seguir com a realização do protótipo para validação do trabalho proposto.

Na sequência passou-se a realizar a montagem do protótipo para validação da placa eletrônica. Seguindo a metodologia do trabalho chegou-se a resultados da montagem do protótipo como pode ser observado na figura 47, em que consta uma visão frontal do protótipo e, na figura 48 uma visão lateral do protótipo, o qual ficou com características semelhantes as partes de alimentação (pescoço e plataforma) de uma colhedora.

Figura 47 - Visão frontal do protótipo.



O autor (2021)

Figura 48 - Visão lateral do protótipo.



Fonte: O autor (2021)

Foi possível observar que o protótipo demonstrou ser eficiente na comprovação do real funcionamento do sistema, respondendo corretamente os comandos da alavanca multifunção, bem como dos sensores indutivos, nos três modos de operação: manual, semiautomático e automático.

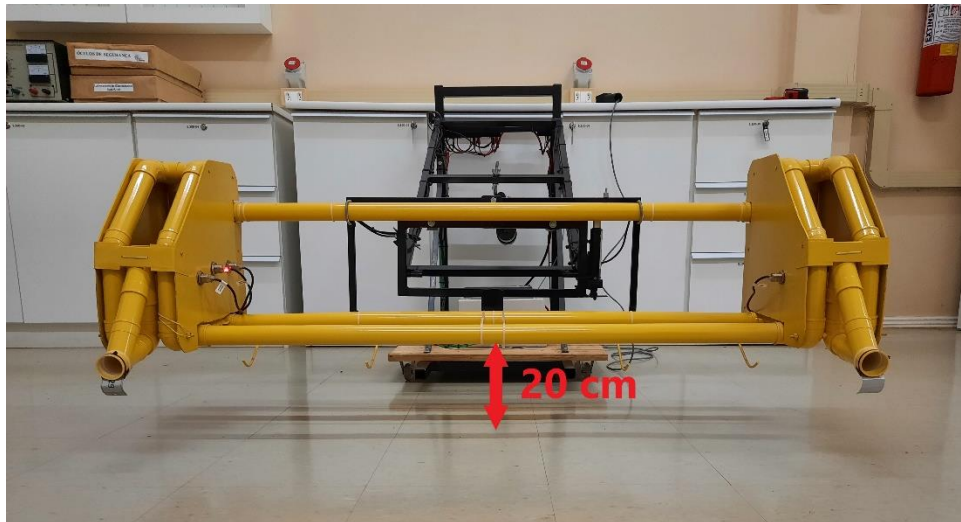
Quando a tecla três posições encontrou-se na posição manual, o LED verde de indicação na placa eletrônica acendeu-se e, o protótipo respondeu aos acionamentos dos botões de acordo com a função selecionada, as quais podem ser: subir plataforma; descer plataforma; inclinar à direita; inclinar à esquerda.

Já quando a tecla três posições encontrou-se na posição semiautomático, o LED amarelo na placa eletrônica acendeu-se e, desta forma, foi possível observar que a inclinação, tanto à direita, quanto à esquerda ocorreu através do acionamento dos sensores. Por sua vez, as funções subir e descer plataforma foram acionadas pelos botões da alavanca multifunção.

Por fim, quando foi posicionada a tecla três posições no modo automático, o LED vermelho da placa eletrônica acendeu-se e, sendo assim, o protótipo esteve apto a operar tanto na forma manual, quanto na forma completamente automática, dependendo do comando realizado. No modo manual, o protótipo respondeu aos comandos da alavanca multifunção e, quando foi pressionado o botão B0 (botão vermelho da alavanca multifunção), foi possível observar que o LED no borne acendeu-se e o sistema passou a operar através do acionamento exclusivamente dos sensores, o que caracteriza o modo automático. No entanto, a qualquer momento que o botão subir plataforma foi pressionado, observou-se que o protótipo voltou a responder aos comandos manuais da alavanca multifunção, conforme projetado.

Além disso, foi possível perceber que através do acionamento do comando “subir plataforma”, o protótipo apresentou resposta de subida da plataforma até alcançar 20 cm acima do nível do chão, em que é possível visualizar através da figura 49.

Figura 49 - Plataforma totalmente erguida.



Fonte: O autor (2021)

Através do comando “descer plataforma” também foi possível observar resposta, onde a plataforma posicionou-se até no máximo 10 cm abaixo do nível da base do protótipo, desta forma, o protótipo simula que é possível realizar a colheita onde o terreno apresenta declive, em que a plataforma necessita trabalhar por momentos mais baixa para realizar a colheita com maior eficiência. A movimentação da plataforma totalizou 30 cm entre a altura máxima e a mínima. Na figura 50 é possível ver a base do pescoço suspensa sobre calços para que a plataforma atingisse a altura abaixo do nível da base do protótipo.

Figura 50 - Plataforma totalmente baixada.



Fonte: O autor (2021)

Ademais, foi possível observar a inclinação da plataforma por meio dos comandos “inclinar para direita” e “inclinar para esquerda”, onde o protótipo inclinou tanto para lado esquerdo, quanto para o lado direito, e atingiu 5,5 graus de inclinação para cada lado em relação ao seu eixo central. Nessa opção de comando, também foi possível observar que a plataforma inclinada apresentou 13 cm de diferença de nível em relação ao bico oposto do comando da inclinação. Na figura 51 é possível verificar o lado direito da plataforma erguido, enquanto na figura 52 é possível ver o lado esquerdo da plataforma erguido.

Figura 51 - Plataforma totalmente inclinada lado direito do operador.



Fonte: O autor (2021)

Figura 52 - Plataforma totalmente inclinada para o lado esquerdo do operador.



Fonte: O autor (2021)

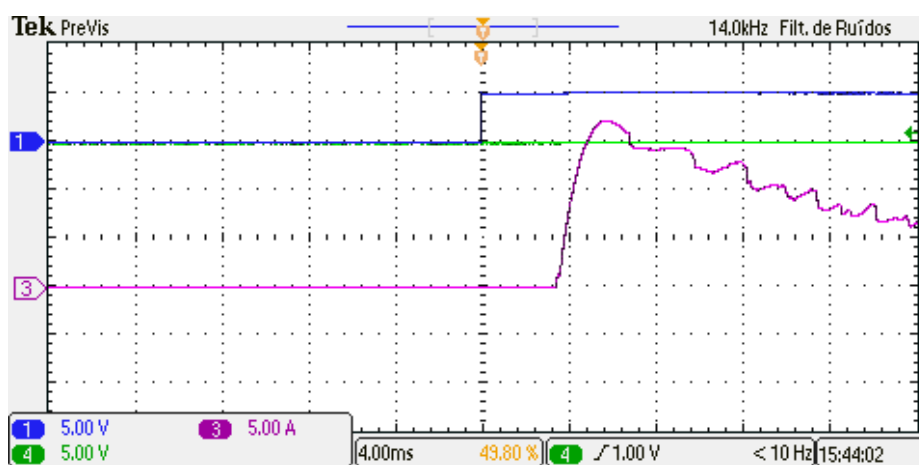
Realizando a soma de todas as potências do protótipo, chegou-se a um consumo máximo de 96 W. A potência máxima de consumo do módulo pode chegar a 4,8 W. Já a potência máxima de consumo do pistão, responsável pela movimentação de subida e descida da plataforma, em carga, é de 80,4 W. E, além disso, a potência máxima de consumo do pistão responsável pela inclinação da plataforma, em carga, é de 10,8 W.

Desta forma, buscando uma autonomia do protótipo para uma possível demonstração do sistema ou realização de futuro treinamento simulando o sistema original, o mesmo apresenta uma bateria automotiva de 60 Ah, em que sua tensão é de 12 V. Deste modo, dividindo a potência total do protótipo que é de 96 W, por 12 V, apresenta um consumo máximo de 8 Ah. Por sua vez, dividindo 60 Ah, que é a autonomia da bateria, pelos 8 Ah, que é o consumo do protótipo, temos uma autonomia mínima do protótipo de 7,5 horas.

Foram desenvolvidos testes também voltados ao tempo de acionamento dos pistões lineares, o qual foi aferido através da utilização de um osciloscópio no laboratório da universidade. O aparelho pertence à marca Tektronix, modelo MSO 2014B e, possibilitou alcançar os resultados descritos na sequência.

O pistão linear responsável pela inclinação da plataforma foi conectado ao canal 3 do osciloscópio e, desta forma, quando acionado o botão inclinar lado direito da plataforma observou-se subir a linha indicada na cor azul no gráfico da figura 53. Além disso, constatou-se um atraso de aproximadamente 3,3 milissegundos para o início do consumo de corrente do pistão linear, que está indicado pela linha magenta do gráfico da figura 53.

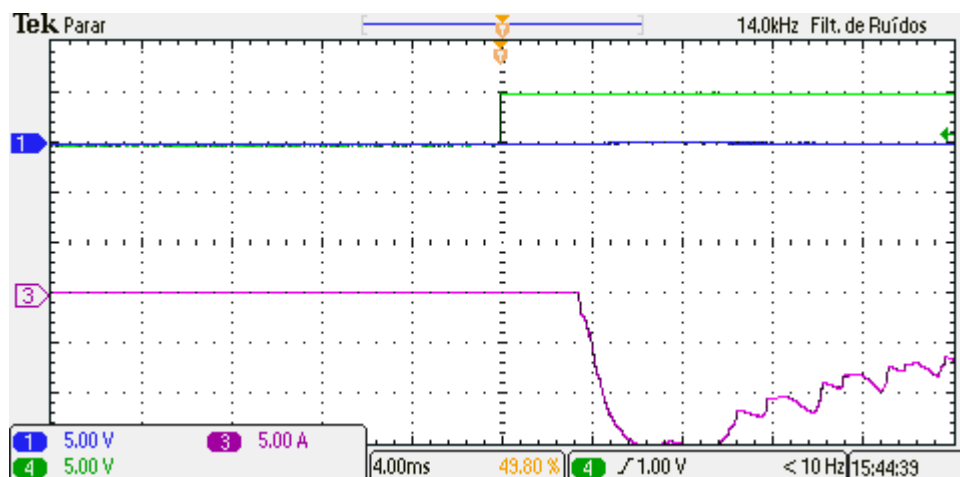
Figura 53 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando inclinar lado direito da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Por sua vez, quando acionado o botão inclinar lado esquerdo da plataforma, é possível observar subir a linha indicada na cor verde do gráfico da figura 54 e, é constatado um atraso por volta de 3,3 milissegundos para o início do consumo de corrente do pistão linear (linha magenta do gráfico da figura 54). Cabe destacar que o comportamento da inclinação da linha magenta indicada no gráfico da figura 54 é oposto ao comportamento da mesma linha no gráfico da figura 53, isso ocorre devido ao sentido da corrente ser inversa.

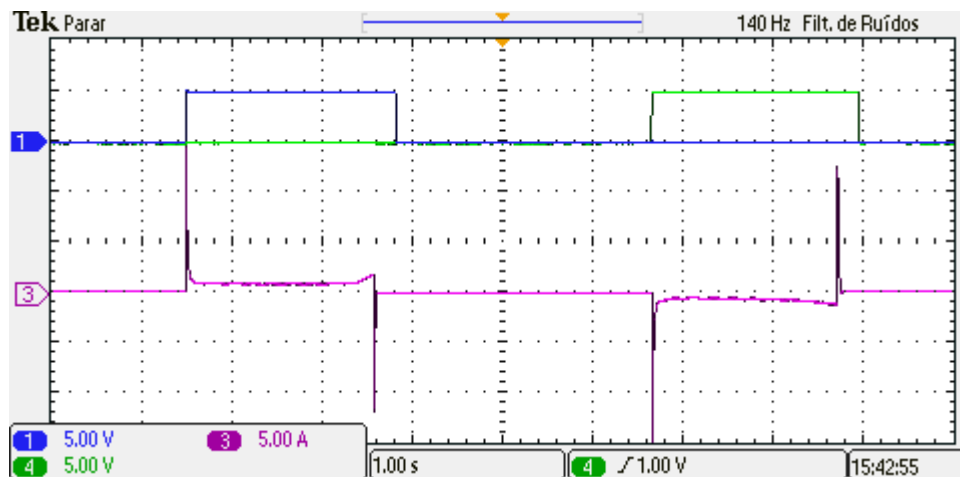
Figura 54 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando inclinar lado esquerdo da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Por meio da figura 55 é possível observar o tempo de percurso do pistão linear responsável pela inclinação da plataforma, da máxima inclinação à direita, até a total inclinação à esquerda, o qual foi constatado como sendo cerca de 2,2 segundos. No entanto, o botão fica acionado por volta de 0,2 segundos a mais em relação ao desligamento do pistão, isso ocorre devido as chaves fim de curso atuarem antes do que a desativação do botão.

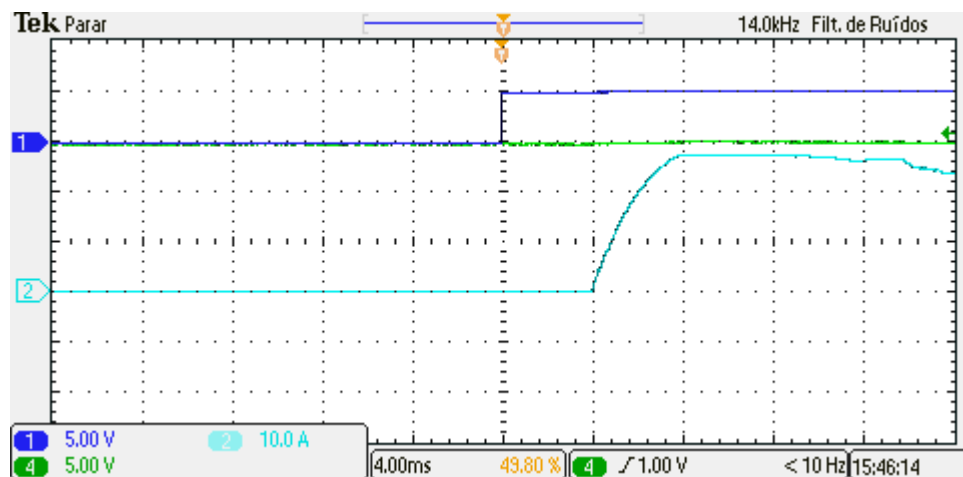
Figura 55 - Representação do tempo de percurso do pistão linear responsável pela inclinação da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Da mesma forma, no canal 2 do osciloscópio foi conectado o pistão linear responsável pela movimentação de subida e descida da plataforma e, quando acionado o botão subir plataforma, foi possível observar a linha de coloração azul escuro do gráfico da figura 56 subir. Além disso, também foi possível constatar um atraso de aproximadamente 4 milissegundos até o início de consumo da corrente realizada pelo pistão, que pode ser observado por meio da linha azul claro do gráfico pertencente a figura 56.

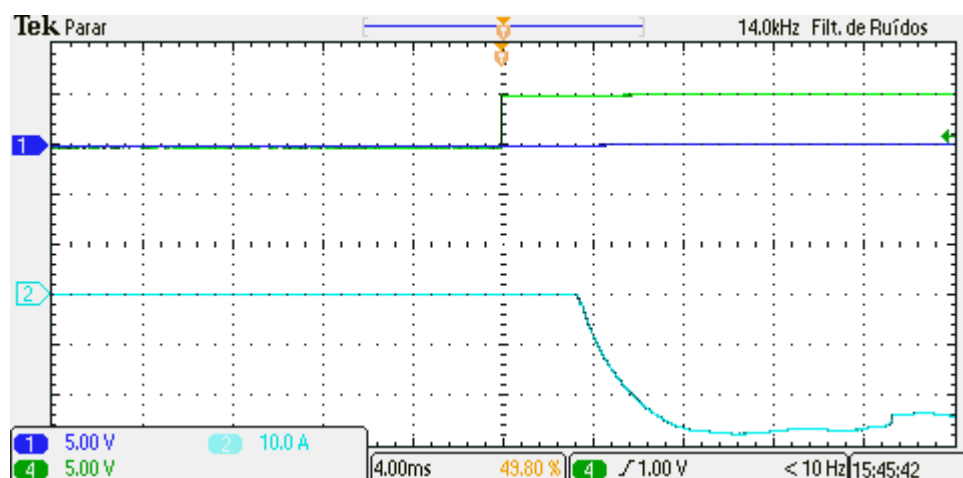
Figura 56 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando subir plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Ademais, quando acionado o botão descer plataforma, foi possível observar subir a linha de coloração verde do gráfico da figura 57 e, desta forma, é constatado um atraso aproximado de 3,3 milissegundos em relação à linha de coloração azul claro (figura 57), que representa o início de consumo da corrente realizada pelo pistão. No entanto, neste gráfico da figura 57, o comportamento da inclinação da linha azul claro é oposto ao comportamento da mesma linha no gráfico da figura 56, isso ocorre devido ao sentido da corrente ser inverso.

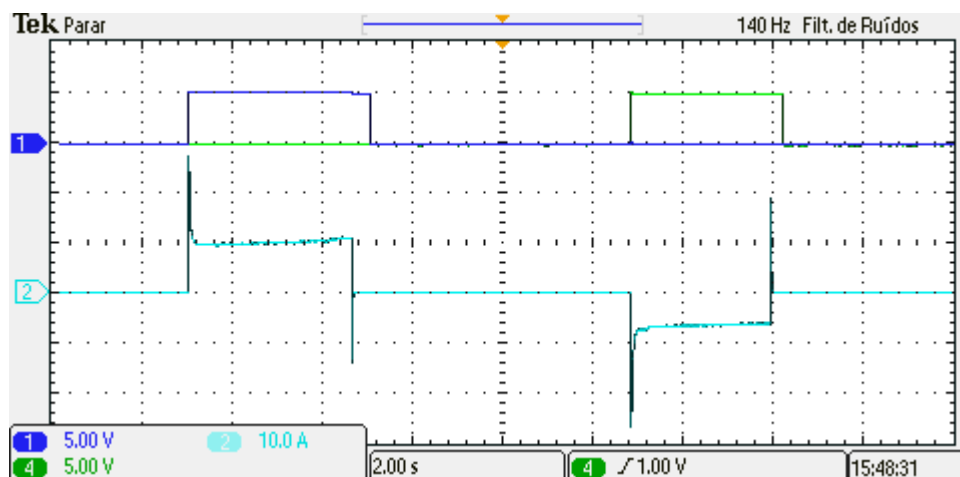
Figura 57 - Representação do tempo de resposta de acionamento do comando descer plataforma.



Fonte: O autor (2021)

Por fim, é possível verificar através da figura 58 o tempo de percurso do pistão linear responsável pela subida e descida da plataforma. Quando o mesmo realiza a total subida da plataforma até sua total descida, apresentou aproximadamente 3,3 segundos de funcionamento. Porém, cabe ressaltar que, o botão fica acionado cerca de 0,2 milissegundos a mais quando comparado ao desligamento do pistão. Isso ocorre pois as chaves fim de curso atuam antes do que a desativação do botão.

Figura 58 - Representação do tempo de percurso do pistão linear responsável pela subida e descida da plataforma.



Fonte: O autor (2021)

No que diz respeito à parte mecânica do protótipo, a mesma demonstrou boa estabilidade na realização dos testes, suportando bem todos os esforços que foram feitos na movimentação da plataforma.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs estudar e desenvolver um sistema eletrônico embarcado que possibilita o auto nivelamento da plataforma de uma colhedora de grãos. A automação está cada vez mais sendo utilizada em máquinas agrícolas, visando maior eficiência, redução dos erros humanos e consequentemente proporcionar maior conforto para o operador.

Baseado na revisão bibliográfica, verificando o funcionamento da operação, e identificando quais eram as variáveis a serem controladas, o presente projeto se propôs a realizar melhorias em um sistema já existente. Após a verificação dos dados passou-se ao desenvolvimento do projeto, foram definidos os componentes a serem utilizados no sistema, como também simulações computacionais e validação em prototipagem.

As simulações em bancada mostraram atender plenamente o funcionamento do sistema, sendo possível verificar seu funcionamento de uma forma prática e possibilitou dar sequência no desenvolvimento da placa eletrônica.

Por sua vez, a placa eletrônica operante, quando introduzida no protótipo, realizou todas as funções as quais foi projetada para executar. Além disso, o protótipo apresentou boa simulação das partes mecânicas de um alimentador de uma colhedora de grãos (pescoço e plataforma) e, correspondeu corretamente a cada comando selecionado.

O trabalho proposto demonstrou atender as expectativas as quais objetivou seu desenvolvimento, podendo ser implementado em uma colhedora de grãos, onde irá desempenhar resultados condizentes com o projeto desenvolvido. Além disso, apresentou um custo relativamente baixo, tornando-se acessível aos proprietários das colhedoras de grãos.

5.1 Perspectivas futuras

O sistema desenvolvido para melhorar a eficiência da etapa de colheita, mostrou-se funcional em todas as simulações realizadas, deste modo, comprovou seu funcionamento. No entanto, para que sua comercialização seja possível, é necessário primeiramente realizar a implementação em uma colhedora de grãos operante.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M. A. de; MORAES, C. H. V. de; SERAPHIM, T. de F. P. **Programação de Sistemas Embarcados - Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595156371/>. Acesso em: 20 maio 2021.
- ALFAMATEC. **Eletroválvula pneumática**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.alfamatec.com.br/artigos-eletovalvula-pneumatica>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- ÁSTER MÁQUINAS. **Um grande marco na história**. Mato Grosso, 2017. Disponível em: <http://www.astermaquinas.com.br/node/2355>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- BAU DA ELETRÔNICA. **Componentes eletrônicos**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- BRITO, F. **Sensores e atuadores**. 1ª edição. São Paulo: Saraiva, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531953/>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- BALESTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.
- CARPANEZZI, Leonardo et al. **História e evolução da mecanização**. 31 ed. [S.l.]: FAEF-Revista Científica Eletrônica, 2017. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CxbNYOvf8fSKep0_2018-1-25-14-45-46.pdf. Acesso em: 23 maio 2021.
- CUGNASCA, C. E.; SARAIVA, A. M. **Máquinas Agrícolas: Eletrônica a serviço do produtor**. Porto Alegre: Revista A Granja, 2005. Disponível em: <https://www.edcentaurus.com.br/agranja/edicao/677/materia/4974>. Acesso em: 05 maio 2021.
- CUNHA, A. F. **O que são sistemas embarcados?** [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: https://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.
- ELETORASTRO. **Materiais elétricos e iluminação LED**. Paraná, 2021. Disponível em: <https://www.eletorastro.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- ENDLER L. et al. **Aplicação da Modelagem Matemática de Atuadores Pneumáticos em Colheitadeiras de Cereais**. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional: São Paulo, 2007. Disponível em: http://sbmac.locaweb.com.br/eventos/cnmac/xxx_cnmac/PDF/516.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.
- FIALHO, A. B. **Automatismos Pneumáticos - Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes e Aplicações Práticas**. São Paulo: Saraiva, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518190/>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- FILIPPO FILHO, G. **Automação de Processos e de Sistemas**. São Paulo: Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518138/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

FIORIO, V.; HENRIQUE, F. **O que é e como funciona um cilindro hidráulico**. [S.l.] Indústria Hoje, 2016. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/o-que-e-e-como-funciona-um-cilindro-hidraulico>. Acesso em: 19 jun. 2021.

JUNGES, R. **Uma Breve História da Mecanização Agrícola**. [S.l.]:Auster Tecnologia, 2019. Disponível em: <https://www.austertecnologia.com/single-post/mecanizacao-agricola-historia> . Acesso em: 23 maio 2021.

LENZ, M. L.; TORRES, F. E. **Microprocessadores**. Porto Alegre: Sagah, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029736/>. Acesso em: 25 abr 2021.

MACHADO, T.A.et al. **Perdas na plataforma de corte de uma colhedora combinada de grãos na colheita de soja**. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/341/256>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MASSEY FERGUSON. **Manual do operador colheitadeiras MF 1630 - MF 3640 - MF 5650**. 7 ed. Canoas: Massey Ferguson, 1987.

METALTEX.**Produtos: sensores indutivos**.São Paulo, 2021.Disponível em:<https://www.metaltext.com.br/produtos/automacao/sensores-indutivos/i-sensor-indutivo-tubular>. Acesso em: 19 jun. 2021.

MOLIN, J. P. **Colhedoras de grãos**. São Paulo: Universidade de São Paulo (e-Disciplinas), 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692009/mod_resource/content/2/Colhedoras_de_gr%C3%A3os2020.pdf. Acesso em: 25 maio 2021.

MIYADAIRA, A. N. **Microcontroladores PIC18 - Aprenda e Programe em Linguagem C**. São Paulo: Saraiva, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519968/>. Acesso em: 13 jun. 2021.

NEW HOLLAND.**Confira os diferenciais da linha de colheitadeiras TC**. [S.l.]: New Holland,2020.Disponível em:<https://escolhasuacolheitadeira.com.br/linhaTC/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

NEW HOLLAND. **Manual do operador colheitadeira TC 5070**. Curitiba: New Holland, 2016.

NEW HOLLAND.**Equipamento: Colheitadeiras-TC**. [S.l.]: New Holland, 2021.Disponível em:<https://agriculture.newholland.com/lar/pt-br/equipamento/produtos/colheitadeiras/tc>. Acesso em: 19 jun. 2021.

OLIVEIRA, A. S. de.; ANDRADE, Fernando Sousa de. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**. São Paulo: Saraiva, 2010.Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520346/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

ROBOCORE TECNOLOGIA. **Loja virtual: atuadores e relés**. São Paulo,2021. Disponível em:<https://www.robocore.net/atuator-rele/rele-metaltext>. Acesso em: 19 jun. 2021.

SILVA, R. P. da. **[Material elaborado para as disciplinas Máquinas Agrícolas (Agronomia) e Máquinas e Mecanização Agrícola (Zootecnia) da FCAV/UNESP]**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2015. Disponível em: <http://lamma.com.br/private/docs/e6766a63f2a8588b963b20cc83e2f380.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SILVA, R. C. da. **Máquinas e Equipamentos Agrícolas**. São Paulo: Saraiva, 2019. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530994/>. Acesso em: 28 abr 2021.

SILVEIRA FILHO, E. S. D. da; SANTOS, B. K. dos. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Porto Alegre: Sagah, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025158/>. Acesso em: 13 jun. 2021.

SMART KITS. **Relé Songle 5V 10A**. Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://www.smartkits.com.br/rele-songle-5v-10a>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SOLOMAN, S. **Sensores e Sistemas de Controle na Indústria**. 2 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2012. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2807-1/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

TAISA. **Produtos: TC5070**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://taisa.com.br/produtos/detalhes/codigo/152598276340685>. Acesso em: 19 jun. 2021.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. 8 ed. São Paulo: Saraiva, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520261/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

YAMASHITA, L. M. R. **Técnico em Agropecuária – Mecanização Agrícola**. Manaus: Instituto Federal Amazonas, 2010. Disponível em: http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Mecanizacao_Agricola.pdf. Acesso em: 17 jun. 2021.