

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA

RHANON BRONGEL SILVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO AUTOMATIZADO DE
CARGAS PARA ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

RHANON BRONGEL SILVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO AUTOMATIZADO DE
CARGAS PARA ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Ponta Grossa



Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Engenharia Eletrônica

TERMO DE APROVAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO
AUTOMATIZADO DE CARGAS PARA ESTRUTURAS
DE ARMAZENAGEM**

por

RHANON BRONGEL SILVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Eletrônica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr. Murilo Oliveira Leme
Orientador(a)

Prof(a). Msc. Edison Luiz Salgado Silva
Membro Titular

Prof(a). Dr. Sérgio Luiz Stevan Junior
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Sergio Okida
Coordenador do Curso

RESUMO

SILVEIRA, Rhanon Brongel. **Desenvolvimento de um protótipo automatizado de cargas para estruturas de armazenagem.** 2019. 67 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

O presente trabalho apresenta a construção do protótipo de um equipamento cujo objetivo é o armazenamento e recuperação automática de cargas paletizadas, em estruturas de armazenagem logística, denominado Carro Autônomo Transportador de Cargas. No desenvolvimento do mesmo foram estudados alguns equipamentos, presentes no mercado, para compreensão do princípio de funcionamento e principais requisitos necessários para a construção do protótipo. Para a execução do *firmware* foi utilizado a plataforma Arduino Mega 2560 associado a sensores ultrassônicos, a fim de detectar os finais de curso da movimentação horizontal, também foram empregados LEDs e *pushbuttons* com o intuito de simular atuadores e sensores.

Palavras-chave: Protótipo. Carro. Transportador. Logística. Arduino.

ABSTRACT

SILVEIRA, Rhanon Brongel. **Development of an automated prototype of loads for storage structures.** 2019. 67 pages. Course Completion Work (Bachelor of Electronic Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The present work presents the construction of a prototype of an equipment whose objective is the automatic storage and retrieval of palletized loads, in logistic storage structures, commercially called Autonomous Car Loader. In the development of the same were studied some Autonomous Car Loader, present in the market, to understand the principle of operation and main necessary requirements for the construction of the prototype. For the implementation of the firmware the Arduino Mega 2560 platform was used in association with ultrasonic sensors, in order to detect the horizontal movement limit switches, LEDs and pushbuttons were also used to simulate actuators and sensors.

Keywords: Prototype. Car. Loader. Logistic. Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pirâmide da automação	18
Figura 2 - Componentes de um microcontrolador	20
Figura 3 - Diagrama de blocos de um CLP	23
Figura 4 - Comparação entre sistemas de armazenagem	25
Figura 5 - Empilhadeira dentro do <i>Drive-In</i>	26
Figura 6 - CATC da fabricante MECALUX	26
Figura 7 - Fluxograma das fases do desenvolvimento	30
Figura 8 - Posicionamento sensores 1	32
Figura 9 - Posicionamento sensores 2	32
Figura 10 - Diagrama das entradas e saídas	34
Figura 11 - Fluxograma da movimentação manual	36
Figura 12 - Fluxograma da movimentação automática de retirada	38
Figura 13 - Fluxograma da movimentação automática de armazenagem	40
Figura 14 - Tela geral da simulação	41
Figura 15 - Tela da simulação e monitoração	42
Figura 16 - Fluxograma do fluxo das informações	43
Figura 17 - Alimentação do hardware	44
Figura 18 - Circuito Driver Ponte H L298H	46
Figura 19 - Diagrama temporal do funcionamento do Sensor	47
Figura 20 - Sensor HC-SR04	48
Figura 21 - Circuito usando um resistor Push-Down.	48
Figura 22 – Trilho Construído	49
Figura 23 – Vista traseira do Protótipo	50
Figura 24 – Vista dianteira do Protótipo	50
Figura 25 – Vista superior do <i>hardware</i>	51
Figura 26 - Identificação dos componentes que simulam chaves, sensores e atuadores	52
Figura 27 - Protótipo Dentro do Trilho	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo fabricantes CATC.....	31
Tabela 2- Tabela verdade Motor A.....	45
Tabela 3 - Tabela verdade Motor A.....	45
Tabela 4 - Resultados testes.....	55

LISTA DE SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
CATC	Carro Autônomo Transportador de Cargas
CD	Centro de Distribuição
CPU	<i>Central Processor Unity</i>
D/A	Digital/Analógico
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
LED	<i>Light Emission Diode</i>
I/O	<i>Inputs/Output</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
UC	Unidade de Controle
ULA	Unidades Lógicas e Aritméticas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 PREMISSA.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 OBJETIVO GERAL.....	13
1.4.1 Objetivos Específicos.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 LOGÍSTICA.....	14
2.1.1 <i>E-COMMERCE</i>	16
2.2 AUTOMAÇÃO.....	17
2.2.1 Microcontroladores.....	19
2.2.2 Plataforma Arduino.....	20
2.2.3 CLP.....	21
2.3 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE CARGAS EM ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM.....	24
2.3.1 Armazenamento de Cargas Paletizadas.....	24
2.3.2 Carro Autônomo Transportador de Carga.....	26
2.3.3 Funcionamento do CATC.....	28
3 DESENVOLVIMENTO.....	30
3.1 VISÃO GERAL DO PROJETO.....	30
3.2 ESTUDO DOS CATC.....	30
3.3 DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DO PROTÓTIPO.....	33
3.4 ALGORITMO.....	34
3.4.1 Entradas E Saídas.....	34
3.4.2 Lógica.....	36
3.5 SIMULAÇÃO DO ALGORITMO.....	41
3.6 HARDWARE.....	42
3.7 COMPONENTES DO PROTÓTIPO.....	44
3.8 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	49
3.9 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	53
4 RESULTADOS.....	54

5 CONCLUSÃO	56
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXO A - Firmware Do Protótipo	63

1 INTRODUÇÃO

A demanda industrial cresce e exige das suas fábricas mais a cada dia. Para serem competitivas no mercado, além de manterem um padrão de qualidade e terem um retorno financeiro a médio ou curto prazo, empresas realizam investimento em tecnologias de automação. No setor de logística das empresas esses investimentos vêm se tornando maiores com o passar dos anos. Tecnologias de automação empregadas em sistemas de armazenagem, por exemplo, trazem ganhos em espaços, agilidade e rastreabilidade ao estoque.

Segundo Nascimento (2011), logística trata-se de uma operação integrada a fim de gerenciar os suprimentos e a distribuição de produtos, ou seja, realizar o planejamento, coordenação e a execução de um processo de controle de todas as atividades vinculadas a aquisição de materiais para a formação de um estoque, desde o momento de sua concepção até seu consumo final.

Tratado como um dos órgãos vitais da logística, a armazenagem tem como definição o gerenciamento eficaz do espaço tridimensional de um local adequado e seguro, colocado à disposição para a guarda de mercadorias que serão movimentadas de forma ágil e simples (LEMOS, 2018). Relata ainda que a armazenagem é uma atividade dentro das empresas que gerência todas as etapas de operação de recebimento e expedição de qualquer tipo de carga.

Desde robôs móveis não tripulados em armazéns logísticos até *drones* para atendimento *on-line*, a atual cadeia de suprimentos atual está passando por uma grande transformação. Com as possibilidades da inteligência artificial, a futura cadeia de suprimentos mantém a promessa de ser completamente autônoma e auto-orquestrada (SINGH, 2016). Os atendimentos com *drones* ainda são uma visão para o futuro, mas os robôs móveis estão cada vez mais presentes nos armazéns logísticos.

Muito desse investimento e transformação que o ramo logístico sofre se dá em função do comércio eletrônico, que está em plena ascensão. Em 2019 no Brasil o comércio eletrônico deve atingir o volume de vendas de R\$ 79,9 bilhões, essa estimativa é da Associação Brasileira de Comércio Eletrônico (ABComm)(E-Commerce Brasil, 2019).

O portal E-Commerce Brasil em conjunto com a empresa norte americana de pesquisa Forrester Research, realizou um estudo o qual demonstrou que o valor

médio por pedido, no comércio eletrônico é de 3 dólares para custos relacionados à serviços e 10 dólares para custos operacionais (CARNETI, 2014).

A gestão de estoques é um fator preponderante para o sucesso ou fracasso de uma empresa. Ter profissionais capacitados e sistemas que auxiliem no controle de estoques são um fator relevante para o sucesso organizacional (SANTOS 2017).

Tendo em vista a importância do estoque, a gestão e o controle do espaço a ser aproveitado, a utilização de vários níveis de armazenagem podem reduzir custos com a guarda de bens, pelo fato da diminuição de avarias e contribuição para uma melhor organização do processo de armazenagem (LEMOS, 2018).

As soluções de armazenamento em estruturas do tipo *drive-in* permite uma armazenagem cuja densidade é muito alta, armazenando até 75% mais paletes no mesmo espaço que o armazenamento em estruturas convencionais. Isso significa mais paletes por metro quadrado, menos corredores e uso mais eficiente do armazenamento cúbico (STONE, 2016).

Uma tecnologia que vem sendo empregada em armazéns logísticos para a otimização de espaço e de operação, é o sistema de Carro Autônomo Transportador de Carga, o qual é definido por NUTECH em seu catálogo como: Um sistema automático para compactação de paletes, no qual um carro elétrico faz a movimentação de cargas que serão armazenadas ou retiradas da estrutura, se locomovendo em trilhos, substituindo algumas funções de empilhadeiras e reduzindo consideravelmente o tempo de operação.

1.1 PROBLEMA

O crescimento do setor logístico traz grandes desafios às empresas do ramo e faz com que elas invistam em tecnologias de automação, a fim de obterem incremento nos ganhos e competitividade. A necessidade do estudo aprofundado e construção de um protótipo de sistema automatizado de cargas paletizadas para estruturas de armazenagem baseado nos equipamentos já presentes no mercado se faz presente quando o uso desse equipamento vem ganhando espaço nos centros de distribuição.

1.2 PREMISSA

A construção do protótipo de um sistema automatizado de cargas para estruturas de armazenagem pode auxiliar no desenvolvimento de novas soluções para Carros Autônomos Transportadores de Cargas em Centros de Distribuição.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a construção do protótipo, serão exploradas técnicas de desenvolvimento permitindo que novos sistemas sejam construídos e melhorados, com base no protótipo desenvolvido.

1.4 OBJETIVO GERAL

Construção de um protótipo que simule funções semelhantes dos carros autônomos, de armazenamento de cargas paletizadas em estruturas, presentes no mercado.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a automação na logística;
- Estudar o princípio de funcionamento dos sistemas automatizados de cargas para estruturas de armazenagem e seus elementos;
- Definir os requisitos necessários para a construção do protótipo
- Desenvolver um algoritmo que desempenhe suas funções;
- Realizar a simulação no *software* Autodesk Tinkercad;
- Construir um protótipo de sistema automatizado de cargas para estruturas de armazenagem de forma a simular o funcionamento.
- Validar sua função.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de obter informações para o desenvolvimento do protótipo, foram estudados alguns sistemas automatizados de cargas para estruturas de armazenagem existentes nos ambientes logísticos, suas características e funcionamento. Com o propósito do entendimento dos seus benefícios e ganhos, um estudo sobre logística e armazenamento também foi realizado. O atual cenário do comércio eletrônico brasileiro também está presente neste referencial com o desígnio de exibir seu crescimento exponencial e conseqüentemente a importância do investimento em automação aplicada à logística.

2.1 LOGÍSTICA

Atualmente o sistema logístico é muito mais abrangente e vai muito além das dependências de uma empresa, pois toda essa cadeia de sistemas logísticos começa desde o fornecimento da matéria-prima e vai até a entrega ao cliente final (RAZZOLINI FILHO, 2007).

A logística divide-se em três atividades primárias, que são detalhadas abaixo:

Transporte: O transporte é uma atividade que deve ser planejada cautelosamente por ter relação com uma grande parcela dos custos logísticos. Um dos grandes focos da logística é precisamente a movimentação dos fluxos físicos de materiais, sejam eles quais forem através da *network* por onde se movem/deslocam. (CARVALHO, 2010). No Brasil o meio de transporte em maior uso é o rodoviário. Observa-se uma tendência à multimodalidade, que basicamente utiliza duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino da carga transportada, utilizando um único contrato de transporte, deixando este menos burocrático.

Processamento de Pedidos: Esta atividade é a que possui menor custo entre as três principais e relaciona o nível de serviço ofertado diretamente com os clientes, o maior desafio do processo logístico é reduzir o “ciclo do pedido”, definido como o tempo total, desde a realização do pedido pelo cliente a entrega.

É demasiadamente importante o bom gerenciamento desta fase para atingir um nível eficaz de serviço oferecido ao cliente. A exatidão no Processamento de Pedidos minimiza o tempo de resposta ao cliente (RODRIGUES, 2010).

Manutenção de Estoques: A manutenção de estoques permite que o produto sempre esteja disponível para os clientes, agindo como um amortecedor entre a oferta e a procura, porém, a manutenção de estoques aumenta o custo do produto e “estreitam” os lucros da empresa, sendo necessária a sincronia perfeita entre a oferta e demanda, a fim de eliminar a manutenção de estoques (MONK, 2013). As atividades que realizam o suporte para a realização das atividades primárias, são denominadas de atividades de apoio. Estas são:

- **Armazenagem:** Consiste em avaliar os processos de estocagem (guarda), movimentação e atendimento dos pedidos pelo armazém (MEIRIN, 2012).

Um armazenamento de materiais planejado adequadamente ajuda a garantir que não haja obsolescência dos produtos em estoque mantendo-os preservados em suas características. Além disso, auxilia na diminuição do espaço alocado e na identificação de itens sem movimentação (MARTINS, 2005).

Armazenagem e manuseio de materiais são componentes essenciais do conjunto de atividades logísticas. Seus custos podem absorver de 10 a 40% das despesas logísticas de uma firma (POZO, 2010).

Levando em consideração a importância e a quantificação de custos de tal atividade, um excelente processo de armazenagem se sustenta em três pilares: o projeto do layout do armazém, cuidados com o manuseio dos materiais e a necessidade do conhecimento das características biológicas, químicas e físicas dos materiais (FONTES, 2013).

A estocagem diferentemente da armazenagem, engloba a guarda de matéria primas e produtos acabados ou não dentro da empresa, sua grande diferença para a armazenagem está no dinamismo e na menor gestão ao executar a atividade.

- **Manuseio de materiais:** Refere-se à movimentação dos produtos no local de armazenagem e compreende desde o processo de recebimento do item, incluindo a sua movimentação interna dentro do armazém até a o momento de saída deste (MEIRIN, 2012).

- **Embalagem de proteção:** O principal objetivo dessa atividade é proteger os produtos com embalagens, onde estas impedirão a danificação das

mercadorias em movimentações. Segundo especialistas, a embalagem, vista sob a ótica sistêmica, compreende o conjunto de operações, materiais e equipamentos utilizados com as finalidades de acondicionar, proteger, conservar, transportar e armazenar produtos ao longo da cadeias de suprimentos (OLIVEIRA, 2011).

- **Obtenção:** Atividade que se preocupa com a aquisição da movimentação de recebimento de estoque de materiais, peças ou produtos acabados de fornecedores para fábricas ou montadoras, armazéns ou lojas varejistas (BOWERSOX;CLOSS; COOPER, 2007).

- **Programação do produto:** Esta atividade lida com a distribuição (fluxo de saída) e trata das quantidades agregadas que devem ser produzidas e onde e quando devem ser fabricadas definindo a sequência e tempo de produção

Afazer como estudo de demanda do mercado, capacidade produtiva da instalação e quantidade disponível em estoque, são englobadas nessa atividade de apoio. (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

2.1.1 E-COMMERCE

O *E-Commerce* é definido como a compra e a venda por meios digitais. (O'BRIEN, 2004). Nessa modalidade de comércio os negócios e as transações financeiras são realizadas por meios digitais.

Os *Marketplaces* têm a função de simplificar a troca de informações, bens, serviços e pagamentos. No processo, eles criam valor econômico para compradores, vendedores, intermediários de mercado e para a sociedade como um todo (BAKOS, 1998).

Tendo essas definições de *E-commerce* e *Marketplace*, pode se entender que o *E-commerce* são lojas virtuais que disponibilizam produtos para venda aos clientes finais. Já os *Marketplaces*, integram diversos *E-commerces*.

Segundo a 37ª edição da pesquisa Webshoppers, o faturamento brasileiro no ano de 2017 foi de R\$47,7 bilhões, um aumento de 7,5% em relação ao ano anterior. Segundo a mesma pesquisa o número de consumidores, que realizaram pelo menos uma compra no ano, foi de R\$55,1 Milhões (LUNARDI, 2018).

Devido a tal crescimento do *E-commerce*, os investimentos de empresas do ramo não têm sido focados somente em tecnologia da informação, para garantir um

estoque seguro e entregar de forma mais rápida o produto ao consumidor, a tendência é que essas empresas gastam parte de suas receitas em tecnologias de operação de forma a agilizar a operação logística.

Um exemplo de tecnologia de operação aplicada em empresas de *E-commerce* são os Centros de Distribuição da Amazon, uma das empresas líderes mundiais do ramo, cujo CDs ao redor do mundo contam com 100.000 robôs que automatizam a movimentação de cargas dentro dos armazéns (BROWN, 2018).

2.2 AUTOMAÇÃO

A automação possui um conceito de conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam (ROSÁRIO, 2009).

É muito comum o uso do termo mecanização como sinônimo de automação, embora sejam termos distintos. Mecanização é o emprego de equipamentos que substituem os esforços físicos em algumas tarefas, já a automação é o emprego de equipamentos controlados automaticamente (SANTOS, 2014).

Alguns exemplos de elementos presentes na automação industriais são os, robôs manipuladores, as máquinas e sistemas de usinagem, os sistemas de estocagem automáticos, sistemas de inspeções e as máquinas de montagem industriais. Estes fazem parte de um diagrama que representa de forma hierárquica os níveis de trabalho e controle, chamada Pirâmide da automação.

A pirâmide de automação é baseada na norma técnica ISA95/EN62264 e é composta por cinco setores representados de forma hierárquica. Essa organização acontece com o objetivo de demonstrar a interdependência de cada um dos níveis (MURRELEKTRONIK, 2018).

O “Nível 0” é majoritariamente composto por dispositivos de campo. Atuadores, sensores, transmissores e outros componentes presentes na planta compõem este nível (SANTOS, 2012).

No “nível 1” estão inseridos os comandos de máquinas, sequência e equipamentos através de controles numéricos, CLPS, e controladores de processo (YAMAGUCHI, 2006).

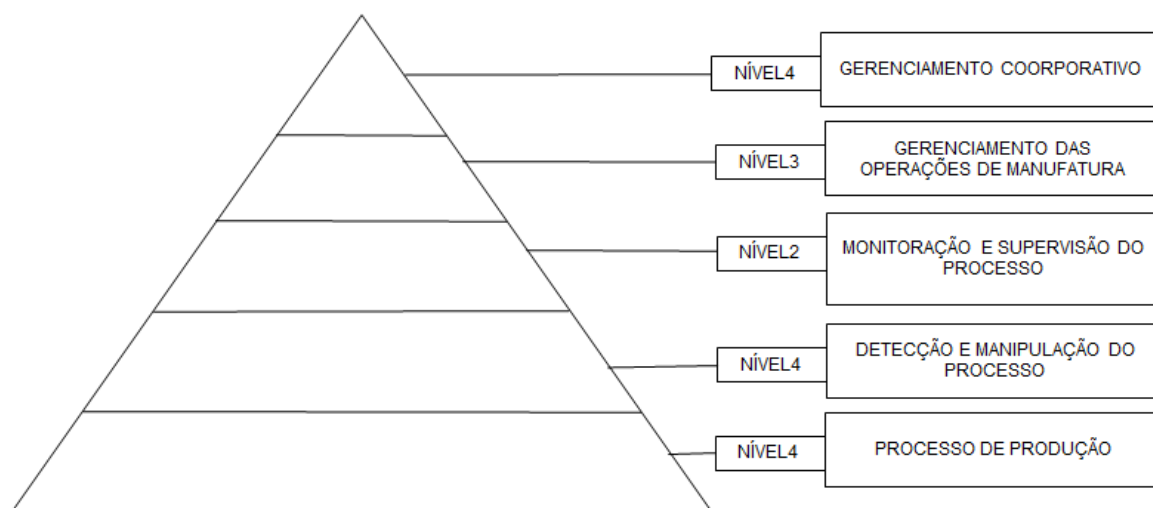
O “nível 2” destina-se a supervisão dos processos executados por uma determinada célula de trabalho em uma planta. Na maioria dos casos, também obtém suporte de um banco de dados com todas as informações relativas ao processo (SANTOS, 2012).

O “nível 3” é responsável pela parte de programação e também do planejamento da produção. Auxilia tanto no controle de processos industriais quanto também na logística de suprimentos. Pode-se encontrar o termo “Gerenciamento da Planta” neste nível (SANTOS, 2012).

O “nível 4” diz respeito ao planejamento dos processos da produção e logística dos suprimentos. A tecnologia nesse setor é avançada e o compartilhamento de informações tem foco corporativo, com interesse na área de vendas e gestão financeira. Ou seja, nesse momento, os dados são focados em gerar maior lucratividade para a empresa (MURRELEKTRONIK, 2018).

A figura 1 ilustra a pirâmide expondo os cinco níveis citados no texto anterior e exemplificando elementos para cada nível.

Figura 1 - Pirâmide da automação



Fonte: Adaptado do modelo de pirâmide de automação da Norma Técnica ISA 95

Araújo (2003) lista os principais motivos para o uso de sistemas automatizados: redução de custos de pessoal, aumento da qualidade dos produtos, redução dos custos de estoque, redução do número de produtos perdidos, menor

tempo gasto no projeto e fabricação de novos produtos, respostas rápidas as solicitações de mercados e a facilidade para implantar modificações no produto.

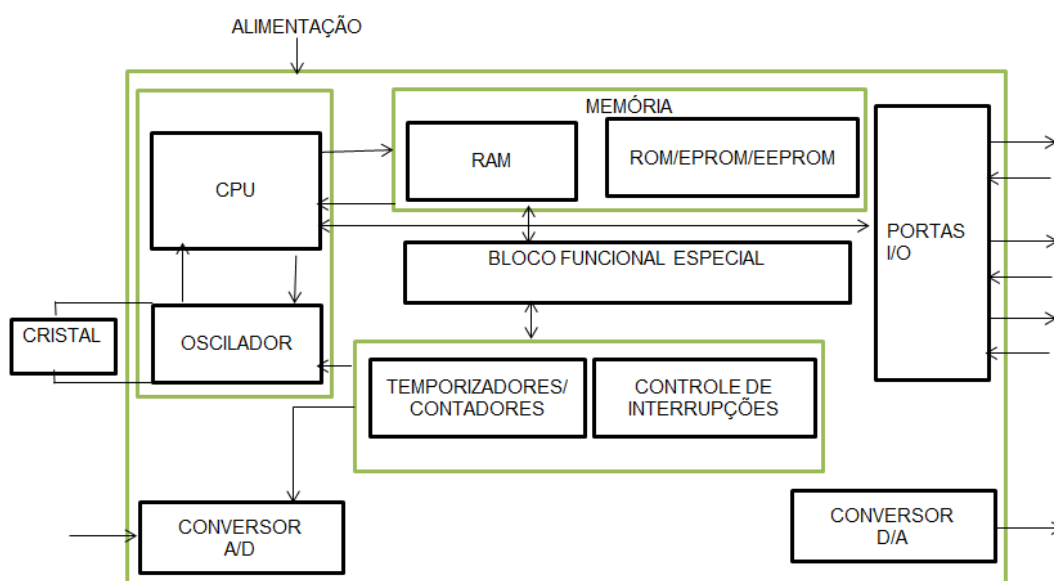
2.2.1 Microcontroladores

O “nível 4” da pirâmide da automação, como no tópico anterior, realiza o controle do processo. Ele interage diretamente com os sensores e atuadores do sistema. É nele que estão os elementos responsáveis por executar o algoritmo. Os microcontroladores e microprocessadores são exemplos desses elementos.

O microcontrolador é um componente eletrônico que pode ser programado de acordo com a sua utilidade e é utilizado no controle de processos lógicos (SOUZA, 2005). Este dispositivo está presente em quase tudo o que envolve a eletrônica, diminuindo o tamanho, facilitando a manutenção e gerenciando tarefas internas de aparelhos eletroeletrônicos, de fato, a miniaturização dos componentes eletrônicos tem contribuído fortemente para inovações de tecnologias (MARTINS, 2005).

Para a realização do controle dos processos lógicos o microcontrolador deve realizar uma interface com o processo a ser controlado, que é realizada através das portas de I/Os. Fazem parte desses componentes duas memórias distintas, a EEPROM onde a informação é retida mesmo quando o microcontrolador estiver desligado, e a RAM que armazena informações durante o funcionamento do componente. Outro bloco integrante é o dos temporizadores e contadores. Conversores A/D e D/A também são componentes de tal dispositivo como é possível observar na figura 2. A CPU é responsável por executar operações lógicas e matemáticas programadas, fazem partes da CPU a ULA (Unidades Lógicas e Aritméticas), UC (Unidade de Controle), os registradores e o decodificador de instrução (AURELIANO, 2017).

Figura 2 - Componentes de um microcontrolador



Fonte: Fonte: Adaptado de Vysakh, 2018

Há duas classificações de microcontroladores quanto arquitetura, Von-Neuman e Harvard. A Arquitetura de von Neumann é uma arquitetura de computador que se caracteriza pela possibilidade de uma máquina digital armazenar seus programas no mesmo espaço de memória que os dados, ou seja, o barramento de acesso para a EEPROM e RAM são compartilhados (MACEDO, 2012).

Na arquitetura Harvard o barramento de memória não é compartilhado com o de dados, e permite que, enquanto uma instrução é executada, outra seja “buscada” da memória, o que torna o processamento mais rápido (SOUZA, 2005).

2.2.2 Plataforma Arduino

O conceito Arduino surgiu na Itália no ano de 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos de uma forma mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado (SILVA, 2014)

É possível encontrar no site principal da plataforma Arduino a sua definição: Plataforma eletrônica de prototipagem rápida, com controle de entradas e saídas de dados, que através desses sistemas ligados a sensores e atuadores, consegue responder uma ação física. É uma plataforma padronizada aberta (*open source*), baseando-se em microcontroladores da família ATmega da Atmel (ARDUINO, 2018).

O Arduino pode ser estendido utilizando shields, que são placas de circuito contendo outros dispositivos (por exemplo, receptoresGPS, displays de LCD, módulos de Ethernet etc.), que podem simplesmente ser conectados ao Arduino para obter funcionalidades adicionais (McROBERTS, 2011).

Banzi (2011) relaciona as vantagens da plataforma Arduino:

- O ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino (IDE), cuja função é escrever e carregar os programas na plataforma tem compatibilidade com os principais sistemas operacionais como Linux, Microsoft e Macintosh;
- O ambiente de programação é intuitivo e de fácil aprendizado;
- O fato de poder ser programado utilizando a conexão USB;
- Tanto o *software* quanto o *hardware* são de fonte aberta;
- Uma comunidade ativa de usuários na internet que compartilham diversos conhecimentos entre si.

Atualmente são mais de vinte diferentes tipos de plataforma Arduino existente no mercado, a diferença, pode ser no tipo de microprocessador embutido, tensão de operação e alimentação, frequência de operação, número de portas de entradas ou saídas e o tamanho da memórias.

A plataforma Arduino MEGA, é baseada no microcontrolador ATmega2560, ela conta com 54 portas de entradas e saídas digitais. A memória Flash dessa plataforma é de 256KB e sua EEPROM conta com uma capacidade de 4KB.

2.2.3 CLP

O *programmable Logic Controller* (PLC) ou Controlador Lógico Programável foi desenvolvido a partir de uma demanda existente na indústria automobilística norte-americana (FRANCHI,2008).

Devido aos altos gastos de tempo e dinheiro que as mudanças na lógica, que controlava os painéis de comando na linha de montagem da General Motors, impactavam. O engenheiro Richard Morley juntamente com sua equipe elabora especificações para a aplicação industrial de um controlador. Essas especificações são (Franchi,2008):

- Facilidade de programação e reprogramação, preferivelmente na planta, para ser possível alterar a seqüência de operações na linha de montagem;

- Possibilidade de manutenção e reparo, com blocos de entrada e saída modulares;
- Confiabilidade, para que possa ser utilizado em um ambiente industrial;
- Redução de tamanho em comparação ao sistema tradicional que utilizava relés;
- Ser competitivo em custo com relação a painéis de relés e eletrônicos equivalentes;
- Possibilitar entradas em 115V e saídas em 115V e com capacidade mínima de 2A para operar válvulas solenóides e contadores;
- Possibilitar expansões sem grandes alterações no sistema;
- Memória programável com no mínimo 4KB e possibilidade de expansão.
- Estações de operação com interface mais amigável;
- Possibilidade de integração dos dados de processo do CLP em bancos de dados gerenciais, para tornar disponíveis informações sobre o chão de fábrica para os departamentos envolvidos com o planejamento da produção.

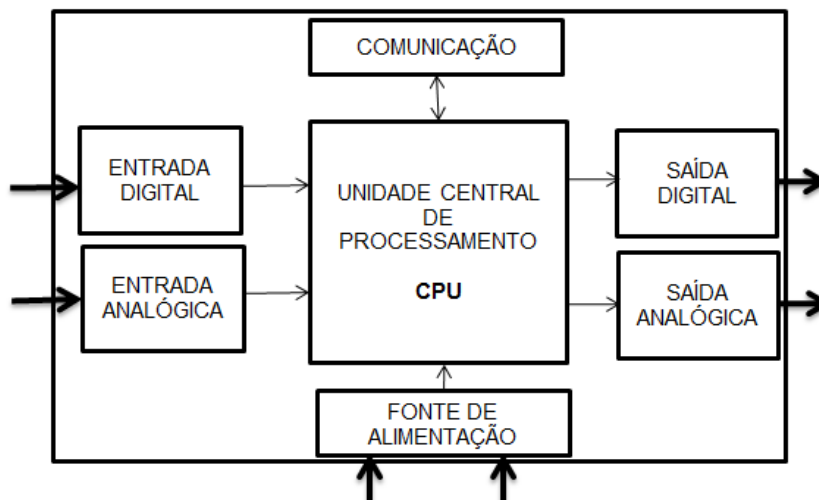
Então no fim da década de 1960 a empresa Bedford Associate lança o MODICON 084 (Modular Digital Controller), um dispositivo de controle que atendia todos os requisitos que o engenheiro Richard Morley e sua equipe necessitavam. Surge ai o primeiro Controlador Lógico Programável.

Segundo IEC (*International electrotechnical Comission*) o CLP é:

“Sistema eletrônico operando digitalmente, projetador para uso industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna das instruções orientadas para o usuário implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de maquinas ou processos. O controlador lógico programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas”.

A arquitetura de um CLP pode ser exemplificada como na figura 3, onde cada bloco tem sua respectiva função, que será detalhada a seguir.

Figura 3 - Diagrama de blocos de um CLP



Fonte: Adaptado de FRANCHI, 2008

A fonte de alimentação é responsável por fornecer energia elétrica para a CPU, para os módulos de entradas e saídas. O dimensionamento da fonte de alimentação varia com a quantidade de I/O's que o CLP possui.

A central de processamento do CLP da seguinte maneira: é a unidade responsável pela execução do programa aplicativo e pelo gerenciamento do processo. Ela recebe os sinais digitais e analógicos dos sensores do campo conectados aos módulos de entrada, e também recebe os comandos via comunicação em rede. Em seguida executa as operações lógicas, as operações aritméticas e avançadas como as de controle de malha programadas na memória do usuário e atualiza os cartões de saída (FRANCHI,2008).

As entradas e saídas, tanto as digitais e analógicas, são responsáveis por conectar os elementos físicos de controle ao CLP. O sistema de comunicação, ou chamados de cartão de rede, realizam a interface de comunicação com os demais elementos presentes na planta (FRANCHI,2008).

Segundo a norma IEC 61131-3 existem cinco linguagens de programação de CLP's: Diagrama de Blocos (FBD), Linguagem Ladder (LD), Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC), Lista de instruções (IL) e Textos Estruturados (ST), sendo a Linguagem Ladder a mais utilizada.

Segundo o artigo IEC 61131-3: a norma para programação da empresa PLC OPEN, a linguagem de Textos Estruturados e Lista de instruções enquadram-se em

linguagens textuais, sendo que a primeira é uma linguagem de alto nível com condicionais (IF e ELSE) e iterações (FOR e WHILE), já a segunda consiste em uma sequência de comandos padronizados. As linguagens gráficas da norma IEC 61131-3 são Ladder que é baseada na linguagem de contatos elétricos (Contatos Normalmente abertos e normalmente fechados), e a de Diagrama de Blocos fundamentado em blocos funcionais (Ex.: blocos “E” e “OU”). Já a linguagem de Sequenciamento Gráfico de Funções é normalmente enquadrada em uma linguagem gráfica embora haja a possibilidade de programação com elementos textuais, esta linguagem deriva-se das redes de Petri e da norma IEC 848 Grafcet.

São diversas as aplicações do PLC, alguns fabricantes de CATC utilizam esse dispositivo para controlar e gerir essas máquinas autônomas aplicadas na logística. A vantagem do uso do PLC nesse caso em relação aos sistemas embarcados é facilidade da alteração do *software* de aplicação e a grande diversidade de sensores e atuadores aplicáveis devido a tensão de operação dos PLCs.

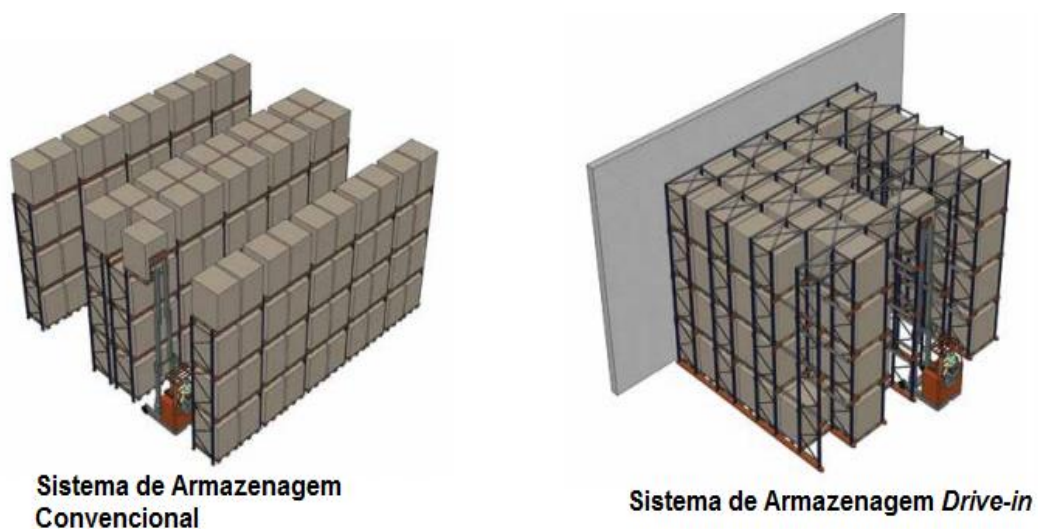
2.3 SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE CARGAS EM ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM

2.3.1 Armazenamento de Cargas Paletizadas

Devido a necessidade do maior aproveitamento de espaço, para armazenagem de cargas paletizadas, surge o sistema intitulado como *drive-in*, uma derivação do sistema de armazenagem convencional, cuja definição é: estrutura formada por blocos contínuos de armazenagem, que permite a utilização máxima do volume disponível, com a redução de corredores para empilhadeiras e aproveitamento total do espaço. Dessa forma, o sistema amplia a capacidade de estocagem e garante agilidade aos processos (BERTOLINI, 2013).

Na figura 4 é possível perceber a diferença entre o sistema de armazenagem convencional e o do tipo *Drive-in*, e na própria figura já é perceptível o ganho de espaço com a compactação de cargas no sistema *Drive-in*

Figura 4 - Comparação entre sistemas de armazenagem



Fonte: Adaptado do catálogo de produtos BERTOLINI

Em contrapartida aos benefícios que o sistema drive-in fornece, alguns problemas surgem (QMH, 2016):

- O sistema de inventário UEPS (Último que Entra Primeiro que Sai) limita os tipos de produtos que podem ser armazenados em um corredor;
- Danificação em empilhadeiras este tipo de sistema, devido a complexidade da manobra dentro do corredor, na figura 6, extraída do catálogo de produtos de uma empresa fabricante de estruturas *Drive-In*, nota-se o restrito espaço que a empilhadeira tem para acessar o corredor.
- Maior possibilidade de perda de paletes, caso o gerenciamento não seja bem feito;
- Dificil acessibilidade a paletes que não estão nas primeiras posições.

A figura 5 ilustra a dificuldade e o pouco espaço que a empilhadeira tem para acessar o corredor do sistema tipo *Drive-in*.

Figura 5 - Empilhadeira dentro do *Drive-In*



Fonte: Catálogo de produtos BERTOLINI.

2.3.2 Carro Autônomo Transportador de Carga.

Equilibrando os proveitos e as desvantagens para o sistema *drive-in*, surge uma solução automatizada, nomeada CATC – equipamento automatizado para movimentação de carga e descarga de paletes dentro de estruturas de armazenagem. Estruturalmente para a utilização de tal mecanismo o sistema *drive-in* é acrescido de um trilho para movimentação do equipamento automatizado. A figura 6 ilustra do CATC fabricado pela Mecalux.

Figura 6 - CATC da fabricante MECALUX



Fonte: Catálogo Mecalux

Mecalux, fabricante espanhola de CATC, define o equipamento, por ela denominado *Pallet Shuttle*, em seu catálogo de produtos, como:

Sistema de armazenamento compacto através do qual um carrinho com motor elétrico se desloca sobre ruas no interior dos canais de armazenamento substituindo as empilhadeiras e reduzindo consideravelmente o tempo de manobra, além disso, permite o agrupamento de referências por canal, em vez de corredores completos. O *Pallet Shuttle* segue as ordens dadas por um operador a partir de um *tablet* com conexão Wi-Fi, depositando a carga na primeira localização livre do canal e compactando ao máximo os *pallets*.

Já a empresa italiana Cassioli, fabricante de equipamentos, em seu catálogo, apresenta uma outra definição para o CATC, por ela titulada de Carro Satélite:

O Carro Satélite CASSIOLI é uma solução especificamente desenvolvida para múltiplas profundidades com alta densidade de estocagem de paletes. O sistema pode operar em diferentes configurações de prateleiras e armazenagem com diferentes lógicas. A frota de carro satélite pode ser gerenciada pelo operador de empilhadeiras ou operador do armazém, desde os finais de corredores, sem a necessidade de acessar os interiores dos corredores, do tipo “*drive in*” ou “*drive through*”.

Outra empresa do setor de máquinas voltadas para a logística, de origem alemã, a SSI-Schaffer, define em seu catálogo o equipamento voltado para carga e descarga automática de cargas paletizadas em estruturas de armazenagem, o SSI Orbiter, como:

O SSI Orbiter[®] é uma evolução do conhecido sistema *drive-in*. Consistem em uma estante especial para esforços dinâmicos, um veículo (carro satélite) e a respectiva estação de acoplamento (*Docking station*). Canais independentes, nos quais o carro satélite será utilizado, possuem um console de centralização, instalado na parte frontal. Uma empilhadeira coloca o carro satélite e estação de acoplamento no console de centralização do canal desejado, na sequência, a empilhadeira coleta o palete e o coloca sobre o carro satélite que, por sua vez, leva o palete até o local de armazenamento mais próximo no canal. Os comandos de condução para o SSI Orbiter são transmitidos via controle remoto sem fio. Depois de concluir o pedido, o veículo retorna automaticamente para a estação de acoplamento. Enquanto o SSI Orbiter armazena o palete, a empilhadeira já pode coletar o próximo palete para reabastecer o sistema. Isto representa um enorme ganho de tempo, resultando em significativo aumento da eficiência no armazém.

A justificativa do motivo da concepção do equipamento CATC para utilização em sistemas de armazenagem do tipo *Drive-in* por si só já possibilita uma ideia dos benefícios ocasionados pelo próprio, a MECALUX no catálogo de produtos ressalta os benefícios que o uso de tal sistema proporciona ao usuário:

- Economia de espaço, devido ao maior número de paletes em profundidade, e as folgas mínimas entre paletes deixadas no armazenamento;
- Economia de tempo, com a redução de carga e descarga, com a eliminação do deslocamento de empilhadeiras dentro dos corredores;
- Aumento da produtividade, através da expansão do fluxo de entrada e saídas de mercadorias e otimização dos movimentos por utilizar o método Produto-Homem, onde a carga se move até o operador.
- Segurança, aos operadores do armazém, sendo que estes não precisam adentrar os corredores das estruturas de armazenagem, ficando expostos a queda de cargas.

2.3.3 Funcionamento do CATC

Fundamentalmente o CATC realiza a movimentação de pallets da primeira posição do *drive-in* para a última livre no caso de armazenagem, e no cenário de retirada de pallets da estrutura, a movimentação acontece do primeiro pallet armazenado para a primeira posição, evitando assim a necessidade de entrada da empilhadeira na estrutura.

Analisando os CATC de algumas fabricantes pode-se perceber que estes são dotados de dois motores. O primeiro motor exerce o trabalho de movimentar o equipamento no sentido da horizontal através de trilhos na estrutura. E o outro motor possui o objetivo de içar ou descender o pallet na estrutura.

Em seu catálogo sobre SSI Orbiter[®], SSI-Schaffer explica o funcionamento do sistema que acaba sendo semelhante para os CATC de outros fabricantes:

- Através de uma empilhadeira, o equipamento é colocado na estrutura de armazenagem.
- Os paletes a serem armazenados, são colocados na posição inicial da estrutura.
- Um comando através do controle sem fio é enviado ao equipamento.

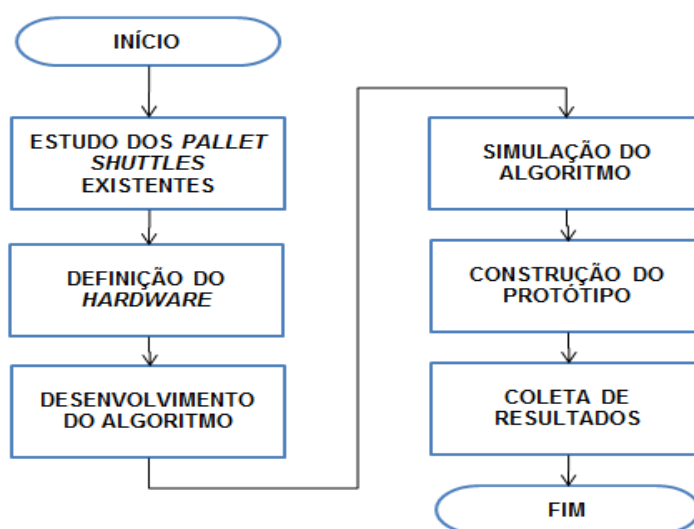
- O SSI Orbiter eleva o palete sobre si mesmo e o transporta para o próximo local de armazenamento disponível, se a estrutura estiver vazia, o transporte é feito para a última posição.
- Chegando nessa posição o equipamento desce o palete na estrutura novamente.
- Depois disso o *Pallet Shuttle* retorna a posição inicial.
- No caso de recuperação de cargas, com o equipamento na posição inicial, um comando através do mesmo controle sem fio é enviado.
- O SSI Orbiter desloca-se até encontrar o primeiro palete armazenado, elevando-o e o movimentando horizontalmente até a posição inicial, descendo-o sobre a estrutura, e assim permitindo que a empilhadeira o remova.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 VISÃO GERAL DO PROJETO

De forma a organizar o desenvolvimento do protótipo, organizou-se as fases de trabalho conforme o fluxograma na figura 7, tais fases serão explanadas em tópicos à frente.

Figura 7 - Fluxograma das fases do desenvolvimento



Fonte: Autoria própria.

O protótipo do equipamento automatizado de carga e descarga, construído tem capacidade de movimentação bidirecional, de avanço e retorno, no eixo horizontal. Essas movimentações são realizadas dentro um trilho, que servirá de guia e simulará a estrutura de armazenagem.

3.2 ESTUDO DOS CATC

Para a construção do protótipo, foi analisado o funcionamento de alguns CATC, os fabricantes de tais equipamentos, não disponibilizam o detalhamento das atividades baseado em entradas e saídas, então para a realização do estudo, foi

observado esses dispositivos em atividade, através de vídeos disponibilizados em páginas da internet de alguns fabricantes.

Os CATC presentes no mercado, basicamente desempenham duas atividades automáticas, o armazenamento de cargas, de uma posição à frente das estruturas até uma posição no interior, e a retirada das cargas do interior da estrutura para a posição dianteira.

Pode-se observar que os limites horizontais da estrutura são detectados por sensores presentes nos equipamentos. Outras funcionalidades também são realizadas através de sensores, como o posicionamento da base de elevação, a detecção da carga a ser retirada, além da percepção de carga armazenada a frente.

As movimentações dos CATC estudados são baseadas em dois eixos cuja dinâmica é gerida por motores elétricos, movimentação horizontal em dois sentidos, e elevação e descida da base do equipamento.

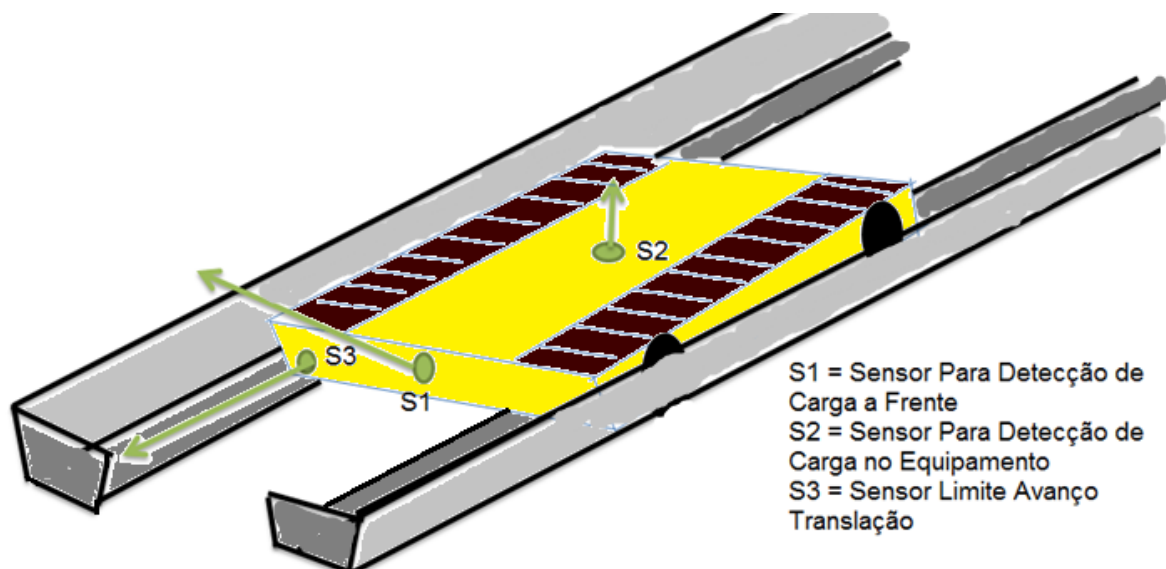
A tabela 1 mostra um comparativo das funcionalidades dos CATC de três fabricantes distintas, tais informações foram extraídas do catálogo dessas fabricantes.

Tabela 1 - Comparativo fabricantes CATC

CARACTERÍSTICAS	MECALUX	SSI SCHAEFER	CASSIOLI
RODAS TRACIONADAS POR MOTORES ELÉTRICOS	X	X	X
ANTENA	X	X	X
SCANNER DE SEGURANÇA	X		
PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO MOTORIZADA	X	X	X
SELETOR MODO DE TRABALHO	X	X	X
SENSOR FINAL DE PERCURSO	X	X	X
SENSORES DE CARGA	X	X	X
CARGA E DESCARGA CONTÍNUA	X		X
INVENTÁRIO	X		X
CONTROLADO POR PLC		X	X
INTEGRAÇÃO COM SISTEMA GERENCIAL			X
ENVIO DE COMANDO POR <i>TABLET</i>	X		
ENVIO DE COMANDO POR CONTROLE REMOTO		X	X

Fonte: Autoria própria.

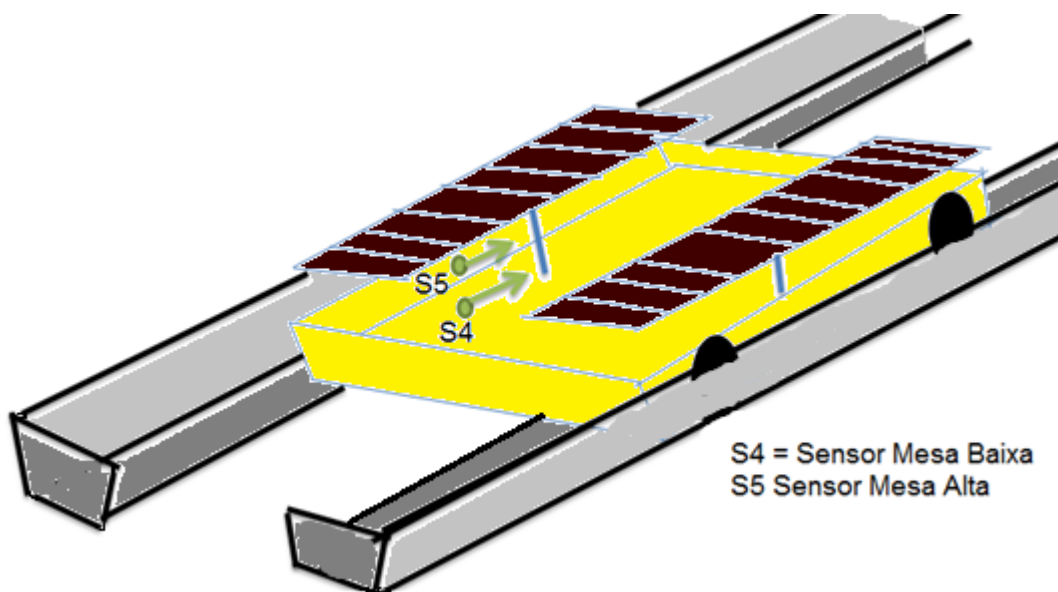
Figura 8 - Posicionamento sensores 1



Fonte: Autoria própria.

Na figura 8 e 9 é possível observar o posicionamento desses sensores, tais sensores são representados pelos círculos verdes. Em amarelo está representado o chassi do CATC, em marrom a mesa elevatória, o trilho está exibido nas colorações acinzentadas. A figura 9 traz a exemplificação do CATC com a mesa elevatória na posição alta.

Figura 9 - Posicionamento sensores 2



Fonte: Autoria própria.

3.3 DEFINIÇÕES DOS REQUISITOS DO PROTÓTIPO

Com base no estudo dos CATC presentes no mercado foram analisadas as características comuns entre ambos e a partir do estudo. Decidiu-se que o protótipo será controlado por um sistema embarcado. Foi deliberado que o protótipo realizará movimentações automáticas de ciclo único para retirada e armazenagem de carga, além de movimentações manuais. A partir dessa definição ficou claro a necessidade de determinados sinais a serem manipulados pelo controlador:

- Sinal para detecção do final do trilho no sentido de avanço;
- Sinal para detecção do final do trilho no sentido de retorno;
- Sinal para detecção do final de curso no sentido de subida da mesa elevatória;
- Sinal para detecção do final de curso no sentido de descida da mesa elevatória;
- Sinal para detectar carga no equipamento em movimentos de retirada de cargas;
- Sinal para detectar carga à frente do equipamento em movimentos de armazenagem;
- Sinal de alteração do modo de trabalho do protótipo;
- Sinal para envio de comando de armazenagem;
- Sinal para envio de comando de retirada;
- Sinal para movimentação manual de subida da base elevatória;
- Sinal para movimentação manual de descida da base elevatória;
- Sinal para movimentação manual de avanço do protótipo;
- Sinal para movimentação manual de retorno do protótipo.

Também foi possível definir os sinais de saídas a serem controlados:

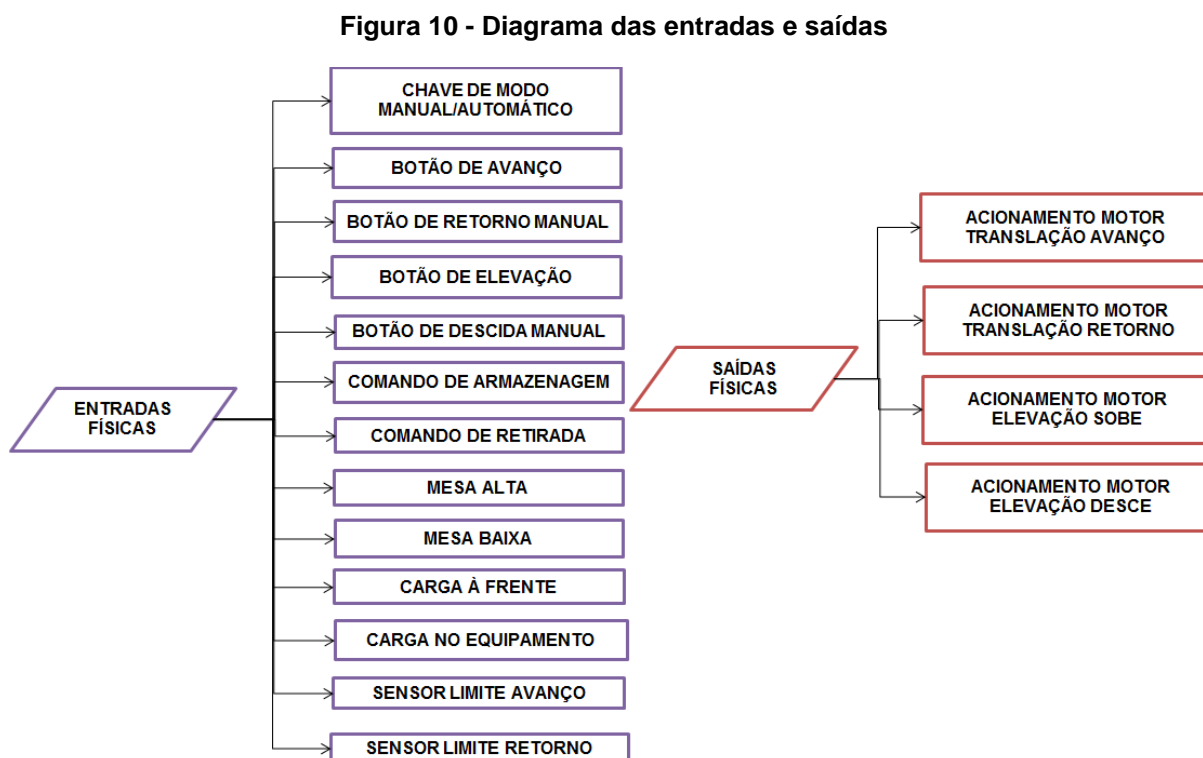
- Sinal de avanço no eixo horizontal;
- Sinal de retorno no eixo horizontal;
- Sinal de subida da mesa elevatória;
- Sinal de descida da mesa elevatória.

3.4 ALGORITMO

Com base no estudo nos requisitos definidos nos tópicos 3.3 foi desenvolvido um algoritmo para o protótipo.

3.4.1 Entradas E Saídas

Primeiramente são nomeadas e explicadas as funcionalidades de todas as entradas e saídas físicas utilizadas no algoritmo e podem ser observadas no diagrama de blocos abaixo da figura 10.



Fonte: Autoria própria.

- Chave de modo manual/automático:** Essa chave tem o objetivo de informar ao controlador se o equipamento operará de modo manual ou se executará suas funcionalidades de forma autônoma, ela é do tipo *on/off*, caso esteja em na posição *off*, enviará um nível lógico baixo ao controlador e indicará a posição manual, em seu nível lógico alto a indicação é de sistema em automático;

- **Botão de Avanço Manual:** Uso para movimentar o dispositivo horizontalmente no sentido de avanço de forma manual;
- **Botão de Retorno Manual:** Tem a função de fazer com que o protótipo realize o movimento horizontal manualmente no sentido de retorno;
- **Botão de Elevação Manual:** Utilizado para que o protótipo possa realizar a subida de sua base de forma manual;
- **Botão de Descida Manual:** Apresenta a funcionalidade de descida da base do protótipo manualmente;
- **Comando de Armazenagem:** É essa entrada que dá início ao sequenciamento de movimentações a fim de armazenar um palete;
- **Comando de Retirada:** Entrada responsável pelo início da lógica de retirada de palete;
- **Sensor de Limite Avanço:** A serventia desse sensor é indicar que o equipamento chegou a seu final de curso horizontal no sentido de avanço;
- **Sensor de Limite Retorno.** O uso desse sensor é a percepção do fim de curso horizontal na orientação de retorno;
- **Mesa Alta:** Sensor que detectará se a base do protótipo está na sua altura máxima;
- **Mesa Baixa:** Esse sensor indica que a base do protótipo está em sua altura mínima;
- **Carga no Equipamento:** Entrada responsável pelo sensoriamento de carga a ser retirada pelo CATC;
- **Carga à Frente:** Sensor com a aplicabilidade de detectar uma carga à frente no caso de armazenamento.

As saídas físicas empregadas no algoritmo foram:

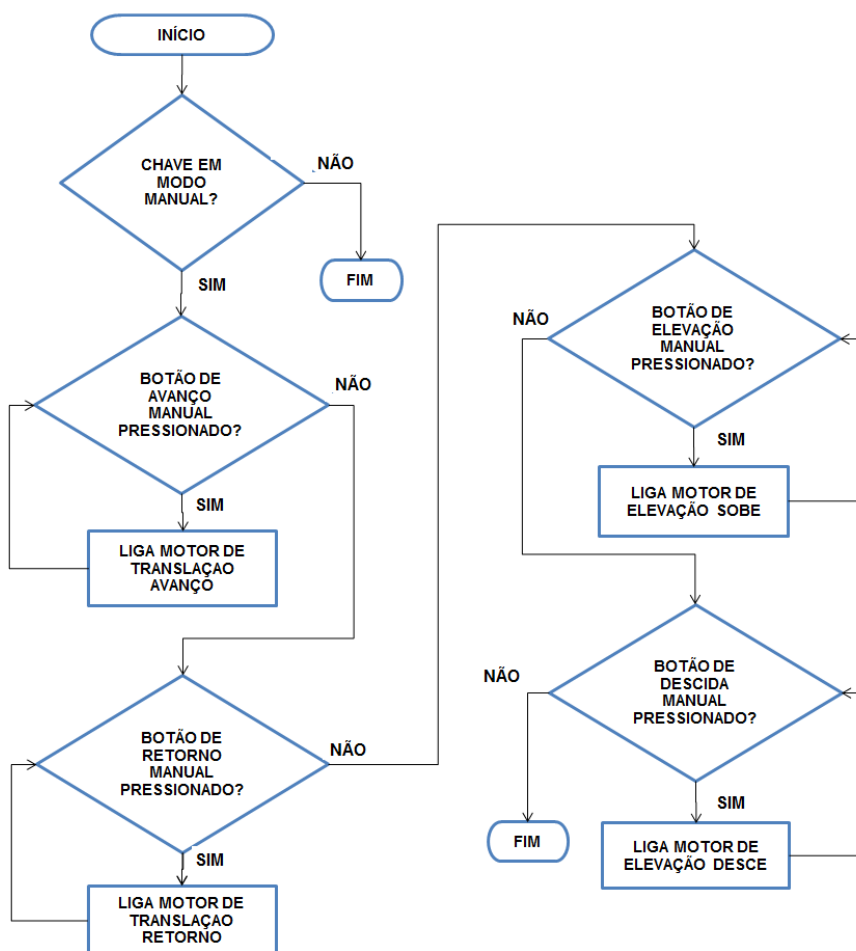
- **Acionamento de Motor de Translação Avanço:** Saída com o objetivo de movimentar horizontalmente o protótipo na direção de avanço;
- **Acionamento de Motor de Translação Retorno:** Possui o objetivo do movimento horizontal do dispositivo no curso de retorno;
- **Acionamento do Motor de Elevação Sobe:** Sua função é de subir a base do protótipo até seu ponto mais alto;
- **Acionamento do Motor de Elevação Desce:** Apresenta o ofício de descer a base do protótipo até seu ponto inferior.

3.4.2 Lógica

Com a elucidação das entradas e saídas, o raciocínio do algoritmo será explicado a seguir:

O algoritmo foi desenvolvido para executar duas atividades de forma autônoma ou para a movimentação do CATC de forma manual, para esta última. A “Chave de modo Manual/Automático” deve fornecer um sinal lógico baixo para o controlador, e então algum comando manual deve ser pressionado, “Botão de Avanço Manual”, “Botão de Retorno Manual”, “Botão de Elevação Manual” ou “Botão de Descida Manual”. Enquanto o botão estiver pressionado, a sua saída respectiva estará ativa. No fluxograma da figura 11, poderá ter uma visão melhor dessa parte do algoritmo.

Figura 11 - Fluxograma da movimentação manual

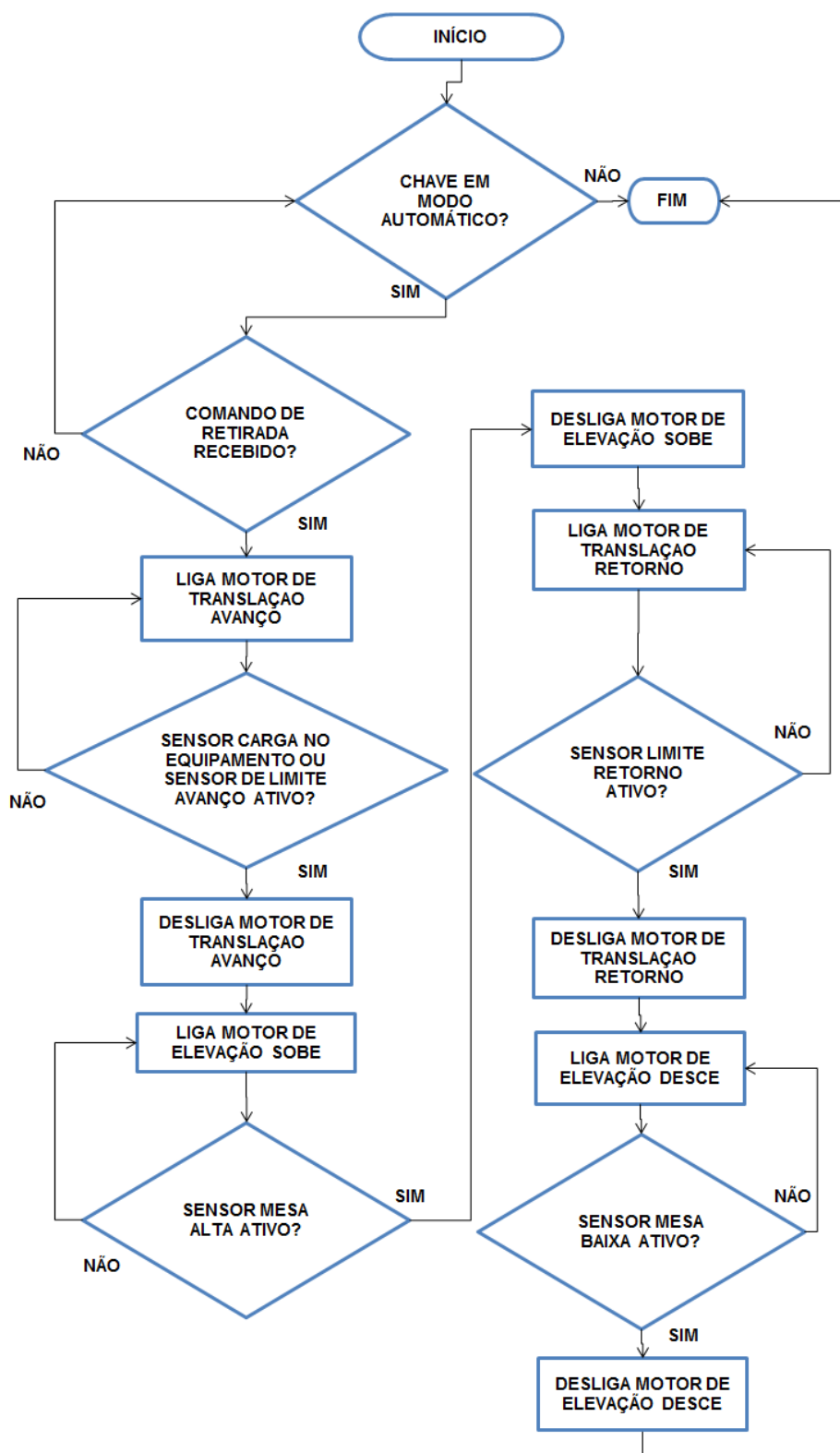


Fonte: Autoria própria

A atribuição do algoritmo da movimentação de forma autônoma se divide em movimentações para armazenagem ou retirada de cargas via CATC. Para a execução de retirada, a condição inicial para a lógica é a “Chave de modo manual/automático” estar na posição de automático, em sequencia ser recebido um “Comando de Retirada”. A partir disso, a saída de “Acionamento de Motor de Translação Avanço” será ativada e permanecerá ligada até que o “Sensor de Carga no Equipamento” ou o “Sensor de Limite Avanço” seja ativado. Quando desligada, a saída referente ao “Acionamento do Motor de Elevação Sobe” será setada e resetará quando o “Sensor Mesa Alta” for ativado.

Concluída essa etapa, o próximo passo é o retorno do equipamento com a ativação da saída de “Acionamento de Motor de Translação Retorno”, que terá seu reset quando o “Sensor de Limite Retorno estiver ativo”, consumado o retorno, a etapa subsequente é o “Acionamento do Motor de Elevação Desce”, esta será concluída quando o “Sensor Mesa Baixa” estiver ativo, concluindo o ciclo de retirada. O fluxograma da figura 12 ilustra essa sub-rotina do algoritmo.

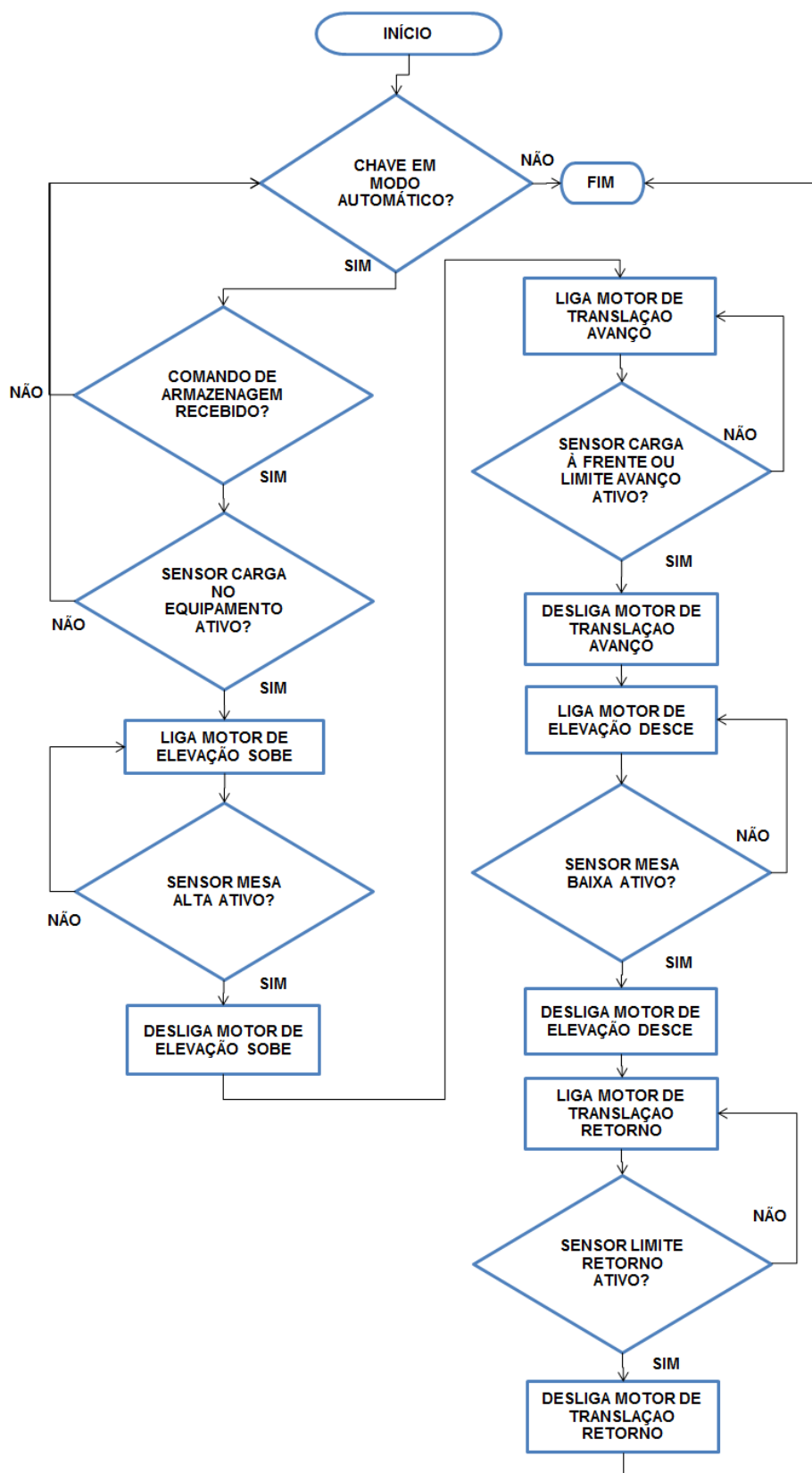
Figura 12 - Fluxograma da movimentação automática de retirada



Fonte: Autoria própria

Assim como na execução de retirada de *Pallets*, a realização do ciclo de armazenagem requer a condição inicial da “Chave de modo manual/automático” na posição de automático, todavia o início da movimentação é acionado pelo “Comando de Armazenagem” recebido pelo controlador e o sinal ativo do “Sensor de Carga no Equipamento”. Com isso o algoritmo inicia o ciclo, ligando a saída de “Acionamento do Motor de Elevação Sobe” até que o “Sensor Mesa Alta” esta ativado, o próximo passo do algoritmo é ligar a saída de “Acionamento de Motor de Translação Avanço”, o desligamento da respectiva saída será dado pelo acionamento do “Sensor do limite avanço” ou do “Sensor de carga à frente”. A sequencia da lógica é dada pelo “Acionamento do Motor de Elevação Desce” enquanto o “Sensor Mesa Baixa” não esteja acionado. A ultima etapa da movimentação de armazenagem é o retorno para a posição inicial, com o “Acionamento do Motor de Translação retorno” até que o “Sensor de Limite Retorno” esteja em nível lógico alto. É possível observar esse sequenciamento de ações no fluxograma contido na figura 13.

Figura 13 - Fluxograma da movimentação automática de armazenagem



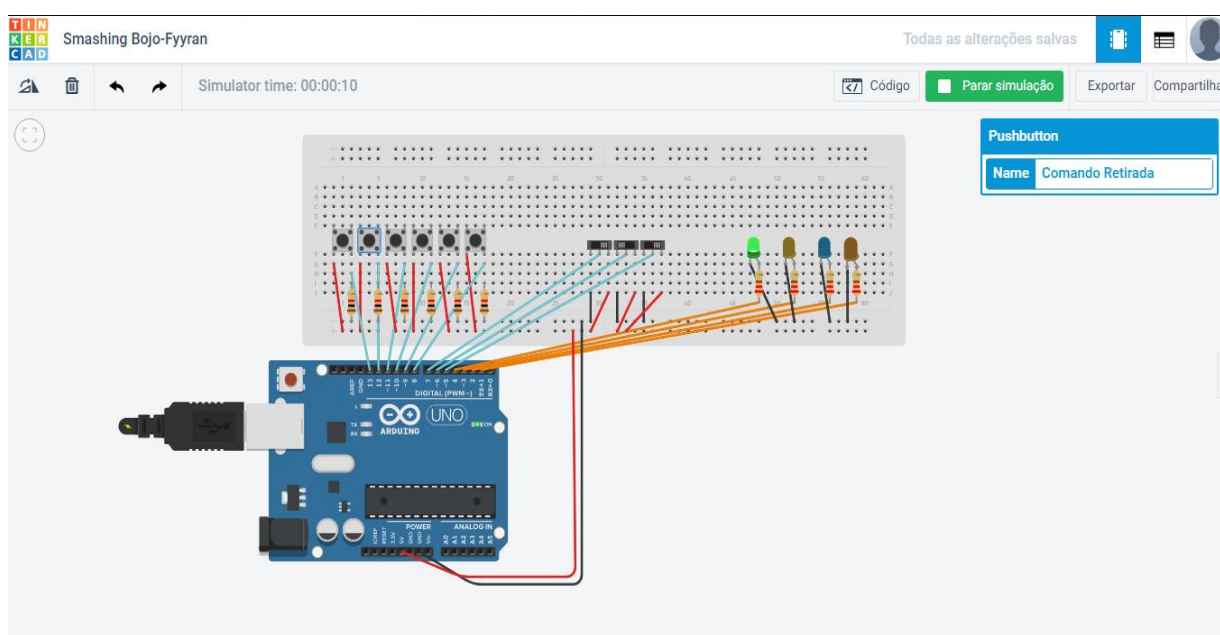
Fonte: Autoria própria

3.5 SIMULAÇÃO DO ALGORITMO

Posteriormente a definição da lógica do CATC, foi desenvolvido o algoritmo. A validação do *firmware* embarcado na plataforma Arduino foi avaliado através de uma simulação,

Para a simulação foi adicionada uma plataforma Arduino, *push buttons*, *slide-switchs* e LEDs, como pode ser visto na figura 14:

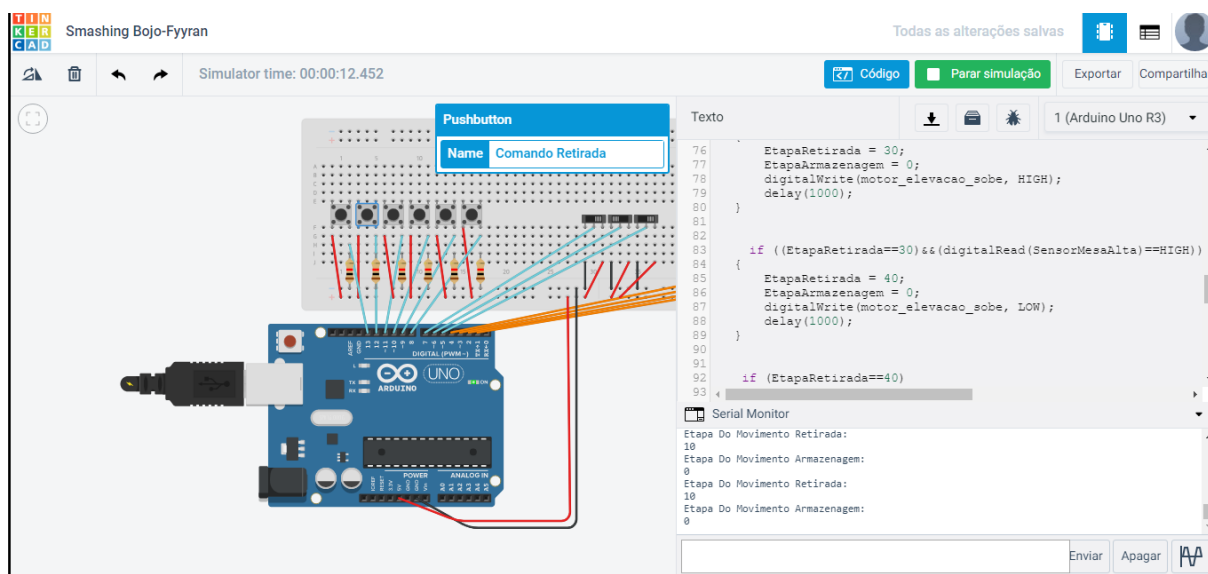
Figura 14 - Tela geral da simulação



Fonte: Autoria Própria

A plataforma Arduino Uno é única disponível no simulador, então primeiramente foi simulado a parte do *Firmware* responsável pelas movimentações autônomas e em seguida as manuais. Na simulação é possível observar através do monitor serial, a etapa da movimentação do protótipo como se pode ver na figura 15.

Figura 15 - Tela da simulação e monitoração



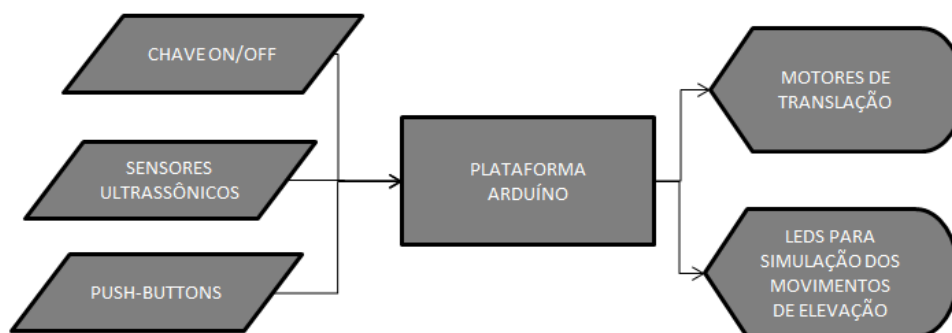
Fonte: Autoria Própria

3.6 HARDWARE

Com base na definição dos sinais utilizados no protótipo, na quantidade de portas requeridas, treze para entradas e seis para saídas todas digitais, e na diversidade de componentes compatíveis, foi definido o Arduino Mega como o controlador a ser empregado no protótipo. O tamanho das memória EEPROM e RAM não tiveram grande relevância no projeto, tendo em vista que foi utilizado 6784 bytes de espaço para o armazenamento de programas e 348 bytes de memória dinâmica.

O diagrama de blocos na figura 10 mostra como foi realizado o fluxo das informações no desenvolvimento do protótipo.

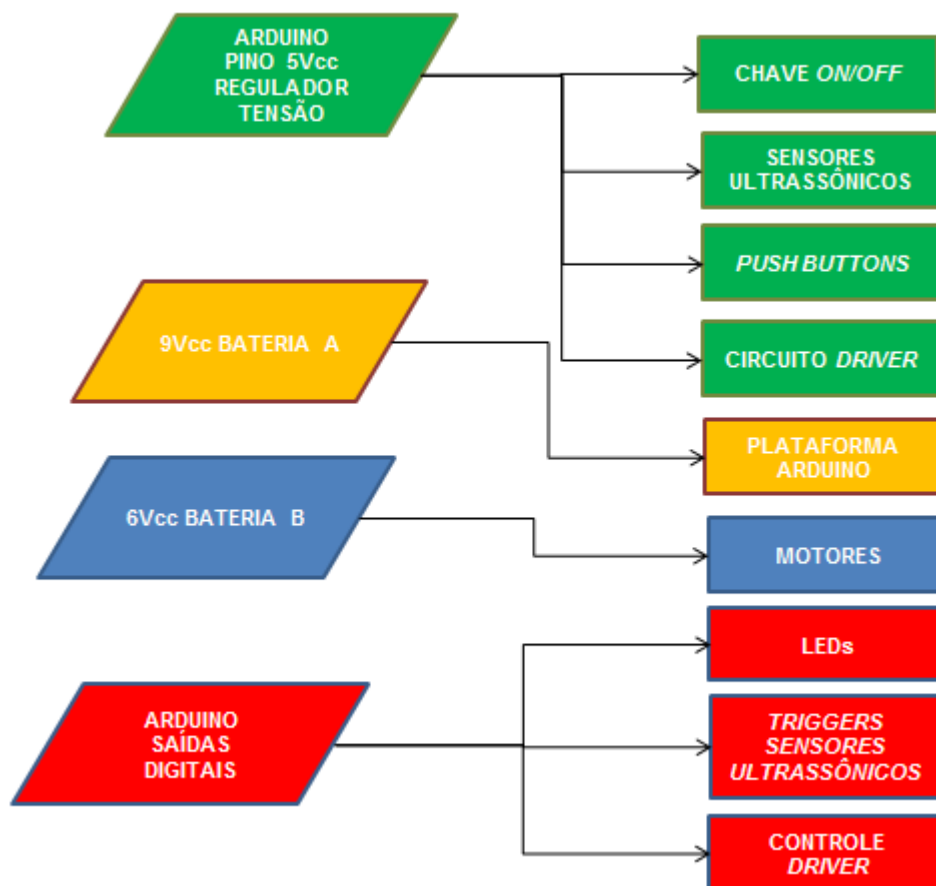
Figura 16 - Fluxograma do fluxo das informações



Fonte: Autoria própria

As alimentações dos componentes do *hardware* foram realizadas por três fontes de energia distintas. Para a alimentação da plataforma Arduino foi utilizado uma bateria que fornece 9Vcc a placa. A alimentação da chave *On/Off*, dos sensores ultrassônicos, *push buttons*, e do circuito *Driver* foi toda feita pelo pino tensão 5Vcc do Arduino cuja tensão é controlada por um regulador de tensão. Já para a energização dos motores foi utilizada uma bateria de 6Vcc, que fornece essa tensão aos motores quando o circuito *Driver* receber um sinal de controle do Arduino, esse sinal de controle, o acionamento dos LEDs e os *triggers* dos sensores ultrassônicos são energizados pelas saídas digitais da plataforma. No diagrama de blocos presente na figura 17 está representado as energizações do componentes.

Figura 17 - Alimentação do hardware



Fonte: Autoria própria.

3.7 COMPONENTES DO PROTÓTIPO

Depois da validação do *Firmware* desenvolvido via simulação e a definição do *hardware*, a próxima etapa foi a implantação em *hardware* e a construção do protótipo. Como esqueleto do protótipo foi utilizado um chassi com tração nas duas rodas traseiras e sem tração na frente, numa única roda.

A tração das rodas traseiras foi feito por dois motores elétricos de corrente contínua, esses motores possuem tensão de operação de 3 até 6Vcc, a corrente desses motores é de aproximadamente 200mA quando operados a 6Vcc. Esse motor empregado ao projeto possui uma caixa de redução acoplada ao motor, que

fornece 0,80Kgf/cm de torque ao seu eixo. Os motores foram alimentados por uma tensão de 6Vcc.

Pelo fato das saídas digitais não terem corrente suficiente para acionar os motores empregados ao protótipo, o uso de um circuito driver se fez necessário, e o utilizado foi Driver Ponte H L298H, como o da figura 18. Esta placa contendo o circuito em questão permite alimentação de 5Vdc através de um conector, ou de 6 a 35Vdc em outro, para o uso de 5Vdc o *jumper* "Ativa 5V" deve estar conectado. Essa placa permite controle de velocidade de dois motores distintos (Motor A e Motor B) através de PWM, caso não queira utilizar tal opção, o jumper Ativa MA e Ativa MB deve estar conectado. O acionamento das saídas de Motor A e Motor B são totalmente dependentes das entradas IN1, IN2, IN3 e IN4, as tabelas verdade para as respectivas saídas mostram as combinações binárias para as mesmas. O estado lógico 1 se dá pela tensão de 5Vdc. A tabela 2 mostra a saída para o motor A com a combinação lógica de IN1 e IN2, já a tabela 3 é referente ao motor B.

Tabela 2- Tabela verdade Motor A

IN1	IN2	MOTOR A
0	0	DESLIGADO
0	1	LIGADO SENTIDO HORÁRIO
1	0	LIGADO SENTIDO ANTI-HORÁRIO
1	1	FREADO

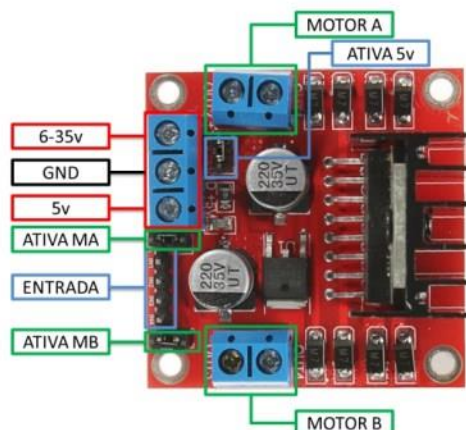
Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 - Tabela verdade Motor A

IN3	IN4	MOTOR B
0	0	DESLIGADO
0	1	LIGADO SENTIDO HORÁRIO
1	0	LIGADO SENTIDO ANTI-HORÁRIO
1	1	FREADO

Fonte: Autoria Própria

Figura 18 - Circuito Driver Ponte H L298H



Fonte: Adaptado Handson Technology

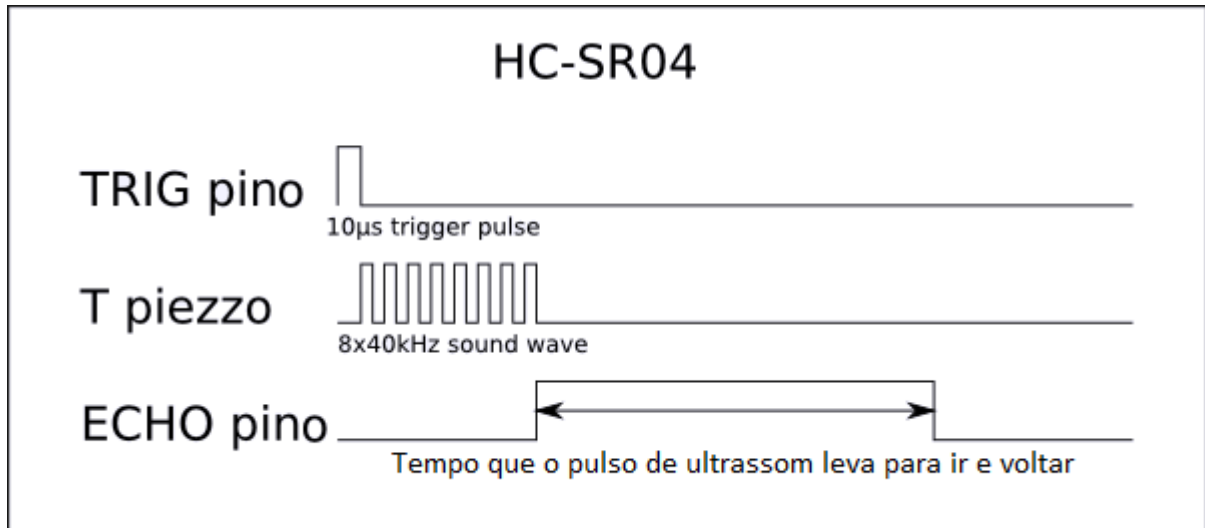
No presente protótipo a alimentação do circuito *driver* se fez por um fonte de tensão de 6Vdc, com isso o *jumper* Ativa 5v teve que ser retirado. A velocidade do motor utilizada foi constante o que não precisou retirar os *jumpers* Ativa MA e MB, tendo em vista que o acionamento dos dois motores do projeto são acionados ao mesmo tempo, no mesmo sentido e com a mesma velocidade, foi utilizado somente a saída Motor A do circuito, com isso somente as entradas IN1 e IN2 foram manipuladas.

Para a representação da elevação ou descida do base do protótipo foram utilizados LEDs de coloração verde para a simulação de subida e amarela a de descida.

Para os sensores de limite avanço e limite retorno, do deslocamento horizontal do protótipo foram utilizados sensores ultrassônicos do tipo HC-SR04, que possuem um *range* de medição de 2cm a 4m. A concepção desse sensor são dois alto-falantes, um emissor e um receptor de som. Para realizar a mensuração de distância de um objeto, o sensor recebe um sinal de gatilho, através do pino *Trigger*, por no mínimo 10µs, então o alto falante emissor de som, emite 8 ondas sonoras de 40kHz. Logo após a emissão dessas ondas, o pino *Echo* fica em estado lógico alto, até que as se choquem no objeto e retornem ao alto-falante receptor colocando o pino *Echo* em nível lógico baixo. O tempo de ida e de retorno das ondas sonoras serão utilizadas para a realização do cálculo da distância do objeto atingido por elas.

As equações 1,2,3 e 4 mostram o cálculo feito para chegar a uma relação do tempo como a distância.

Figura 19 - Diagrama temporal do funcionamento do Sensor



Fonte: Adaptado de Cytron Technologies

Fisicamente a velocidade média é dada pela razão do deslocamento sobre o tempo, e é demonstrada na equação 1, onde V é a velocidade, ΔS é a distância total percorrida e Δt é o tempo total gasto para percorrer a distância.

$$(1) v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Sabendo que a velocidade do som no ar corresponde a 340,29m/s, e substituindo na equação 1, obteve-se a equação 2:

$$(2) 340,29 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Considerando que o tempo de captura do pino *Echo* é duas vezes a distância a ser mensurada, chegou-se a equação 3:

$$(3) \Delta S = 340,29 \cdot \Delta t / 2$$

Chegando a equação 4:

$$(4) \Delta S = 170,45 \cdot \Delta t$$

Figura 20 - Sensor HC-SR04



Fonte: Cytron Technologies

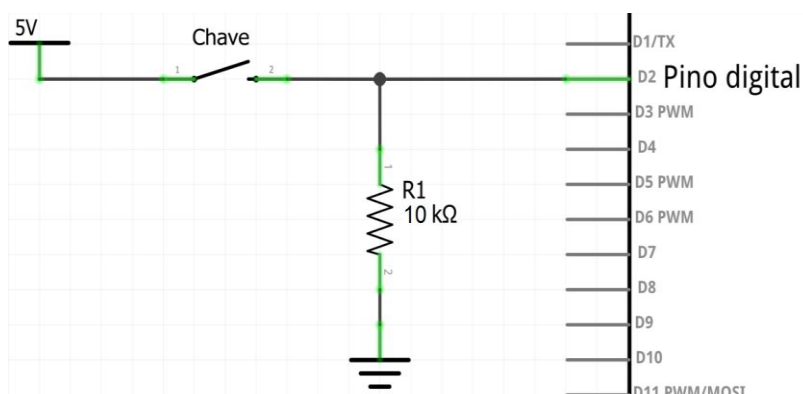
A figura 20 ilustra o sensor ultrassônico HC-SR04, é perceptível os alto falantes do mesmo, bem como os pinos de alimentação, *Trigger* e *Echo*.

O uso da Chave de modo manual/automático se fez por uma chave de liga/desliga.

Para a simulação dos sensores de Mesa baixa, Mesa Alta, Carga no equipamento, Carga à frente, bem como envio dos comandos de armazenagem e retirada e movimentações manuais, foram utilizados *push buttons*.

Com o intuito de assegurar o estado lógico baixo, quando o botão não estiver pressionado, foram utilizados resistores de *Pull-Down* de 10KΩ em todos os *push buttons* do protótipo, na figura 21 esta uma exemplificação da ligação do resistor de *Pull-Down*.

Figura 21 - Circuito usando um resistor Push-Down.



Fonte: Autoria Própria

A simulação da estrutura de armazenagem foi realizada através de trilho construído. Para construção do mesmo, foi utilizada uma tábua de madeira cuja medida é 1500mm de comprimento, 190mm de largura. Já para o apoio lateral foram utilizadas ripas de madeira de 1500mm de comprimento e 45mm de largura. O trilho pode-ser visto na figura 22. A largura foi definida com base no protótipo construído, de forma que ele pudesse se locomover dentro trilho.

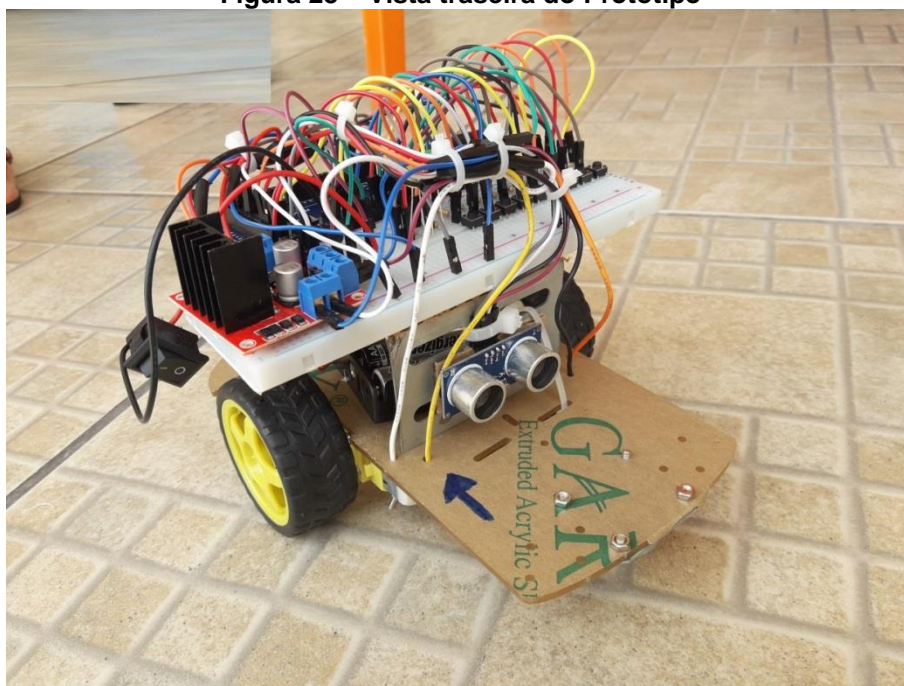
Figura 22 – Trilho Construído



Fonte: Autoria Própria

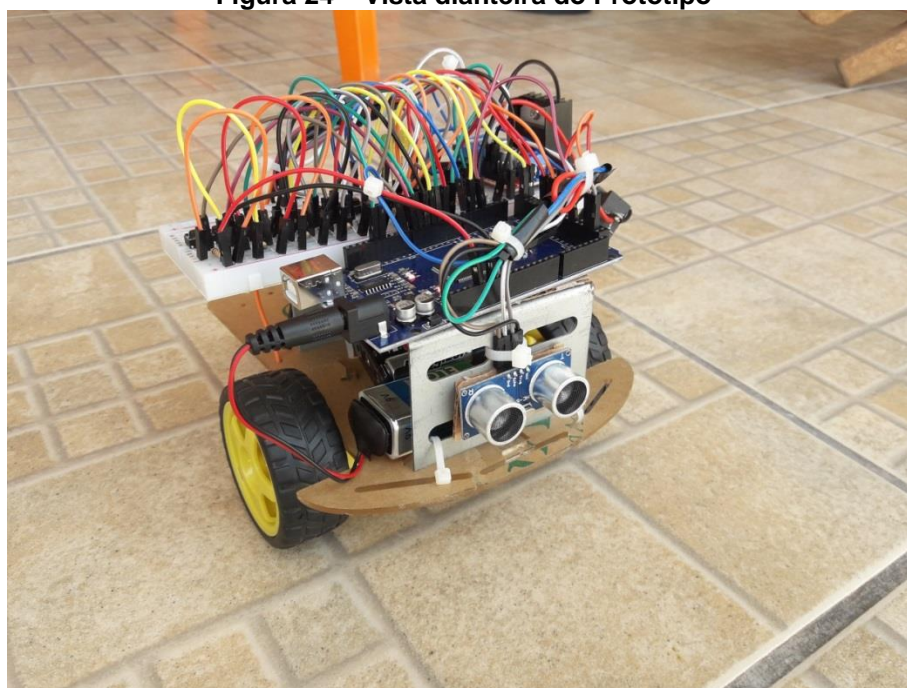
3.8 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

O aspecto final do protótipo de um CATC é ilustrado nas figuras 23, 24 e 25. Na figura 23 é mostrada a parte traseira do protótipo, é possível observar o chassi do protótipo, o sensor ultrassônico que faz o sensoriamento do limite traseiro, a chave de modo manual/automático a cima da roda.

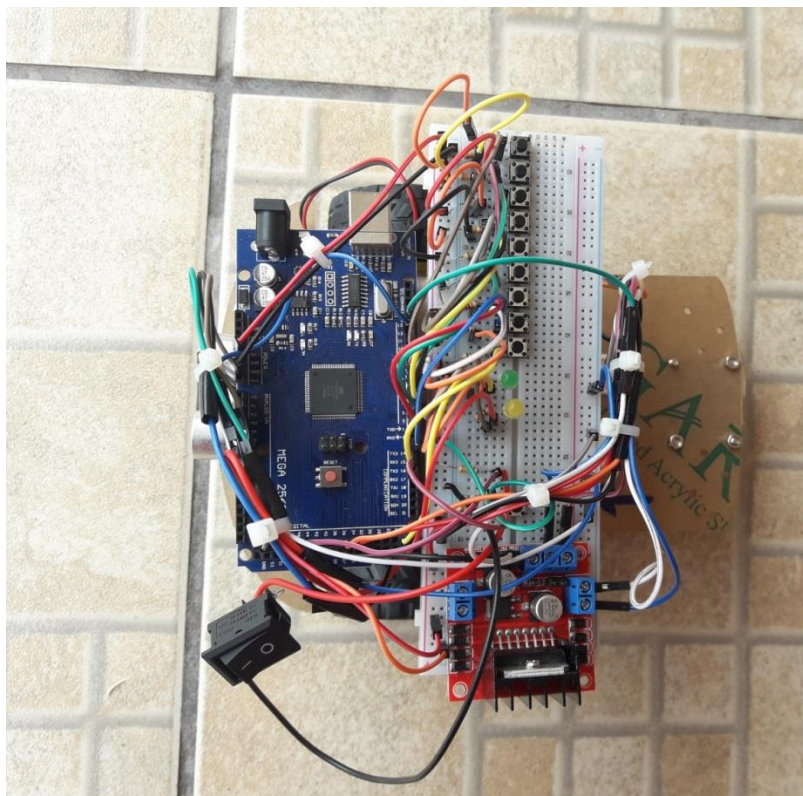
Figura 23 – Vista traseira do Protótipo

Fonte: Autoria Própria

A figura 24 ilustra a parte dianteira do protótipo. O enfoque da figura 25 é mostrar a parte eletrônica do protótipo, nela esta ilustrada o controlador, os *push buttons* e os LEDs numa *protoboard*, o circuito *driver* e a chave de modo manual/automático.

Figura 24 – Vista dianteira do Protótipo

Fonte: Autoria Própria

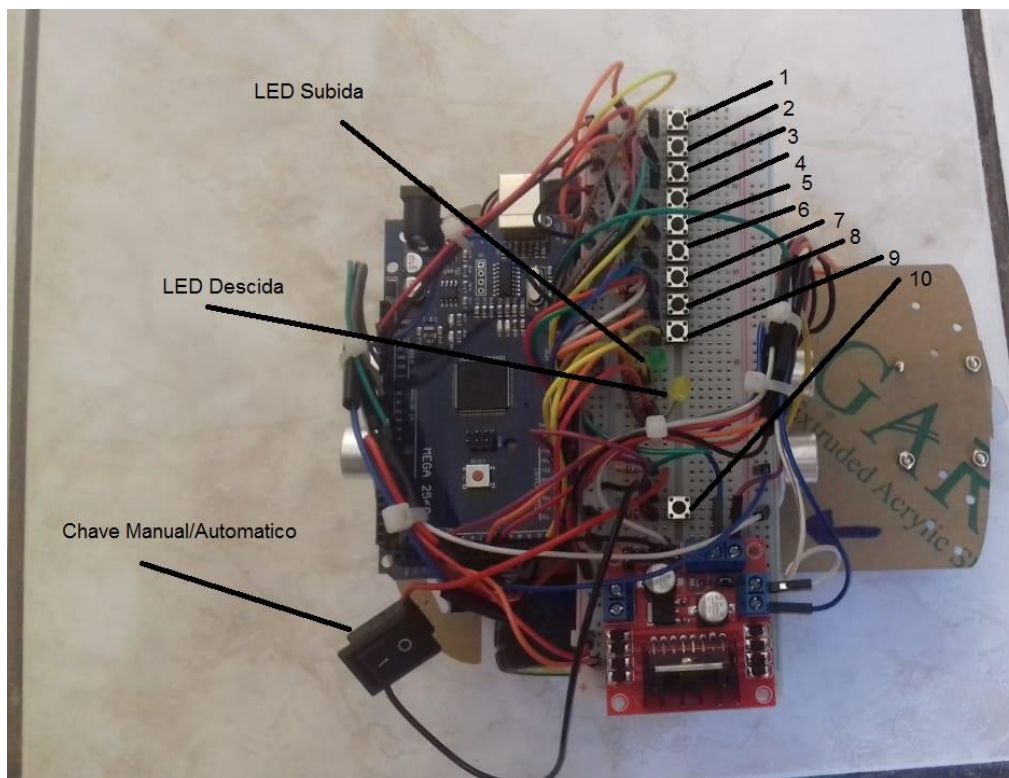
Figura 25 – Vista superior do hardware

Fonte: Autoria Própria

Para operação do protótipo devese usar a “chave de modo manual/automático”, a posição 0 o modo manual e a posição 1 o automático. Além dos *push buttons*, serão descritos a posição e a função de cada um. A figura 26 trás uma vista superior do protótipo com uma numeração dos *push buttons* e a identificação dos LEDs e a Chave de modo manual/automático. A legenda dos *push buttons* é descrita abaixo:

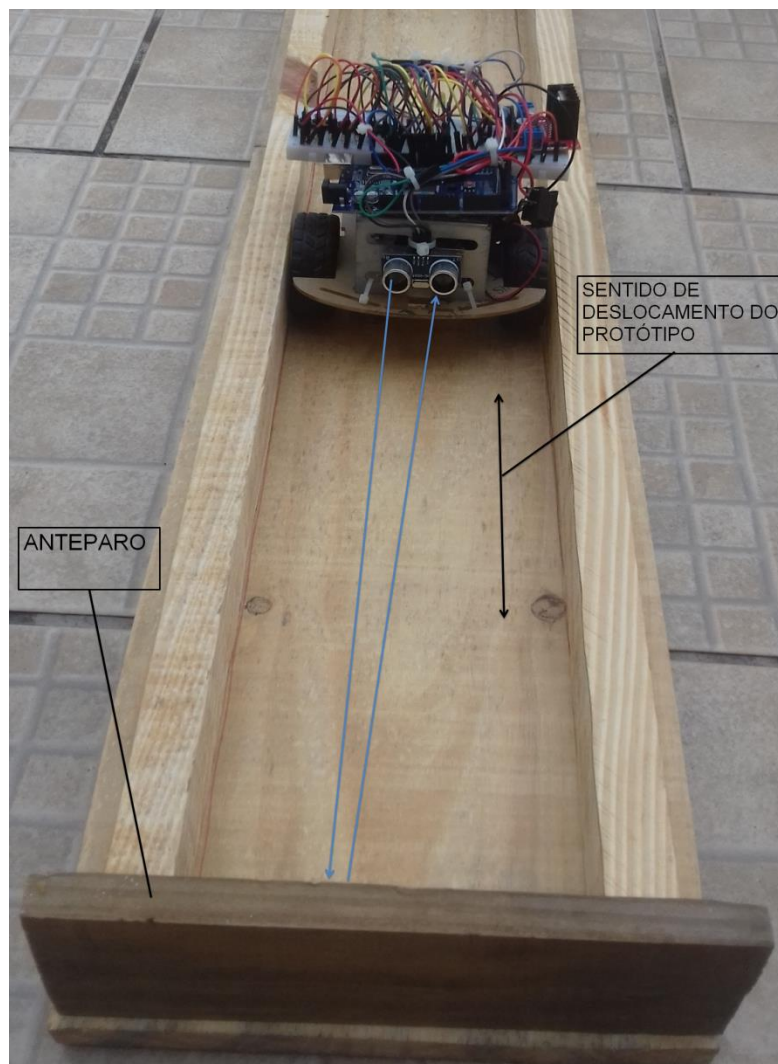
- *Push Button 1*: Comando de Armazenagem;
- *Push Button 2*: Comando de Retirada;
- *Push Button 3*: Sensor de mesa baixa;
- *Push Button 4*: Sensor de mesa alta;
- *Push Button 5*: Sensor de carga no equipamento;
- *Push Button 6*: Botão de avanço manual;
- *Push Button 7*: Botão de retorno manual;
- *Push Button 8*: Botão de elevação manual;
- *Push Button 9*: Botão de descida manual;
- *Push Button 10*: Sensor de carga à frente.

Figura 26 - Identificação dos componentes que simulam chaves, sensores e atuadores



Fonte: Autoria Própria

A figura 27 mostra o protótipo dentro do trilho, e mostra o sentido de deslocamento do protótipo, o anteparo do trilho e como o sensor ultrassônico emite as ondas contra o objeto para medi-lo.

Figura 27 - Protótipo Dentro do Trilho

Fonte: Autoria Própria

3.9 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a validação do funcionamento do protótipo foi executado movimentações dentro e fora do trilho. Essas movimentações foram divididas em manuais e automáticas, sendo que as automáticas subdividiram-se em movimentações de retirada e de armazenagem, simulando todas as condições do fluxo do algoritmo. Para cada subdivisão foram executados vinte ciclos e coletados os resultados.

4 RESULTADOS

Os testes foram fracionados em duas etapas: Na primeira as movimentações do protótipo foram realizadas dentro do trilho construído, na outra se utilizou um ambiente sem trilho, ou seja, o protótipo se deslocava num plano reto e com menor atrito que o trilho.

Na primeira etapa obteve-se êxito para as movimentações manuais, as quais foram executadas, colocando o protótipo em modo manual através da Chave de modo “Manual/Automático” e pressionando individualmente o *Push-Button* respectivo de cada movimentação manual.

Para os testes automáticos do protótipo dentro do trilho, não houve êxito em nenhuma movimentação, pelo fato do protótipo não se locomover em sentido retilíneo. Então o mesmo acabava tracionando contra a parede do trilho em razão da baixa potência dos motores de translação o mesmo parava.

Para a segunda etapa o protótipo foi colocado próximo a uma parede, na posição inicial de partida. Então se enviou os comandos para movimentações automáticas, a partir disso foi analisada a execução da lógica programada.

Estes primeiros testes do protótipo foram divididos em três etapas, movimentações manuais, ciclo de armazenagem e ciclo de retirada.

Nos testes de movimentações manuais. A “chave de modo Manual/Automático” foi deixada na posição manual e foram acionados individualmente os botões de avanço e retorno da translação além dos botões de elevação e descida manual. As saídas foram acionadas como esperadas pelo projeto do *firmware*.

Foram executados vinte ciclos para o ensaio do ciclo de armazenagem, deixando o protótipo em modo automático, na posição inicial, simulando o sensor de carga no equipamento, além dos sensores de mesa baixa e mesa alta. Destas vinte execuções, dez foram praticadas com o intuito do protótipo interromper sua movimentação horizontal no sentido de avanço através da simulação do sensor de carga na frente, e todas elas foram realizadas com êxito. Já nas outras dez, em que o protótipo se movimenta até um percurso final de translação, oito foram bem-sucedidas e em uma o protótipo colidiu com o final do curso em razão de erro nos sensores ultrassônicos

De forma análoga ao ciclo de armazenagem, o teste do ciclo de retirada, foi realizado colocando o protótipo em modo automático, na posição inicial, e simulando os sensores de carga no equipamento, de mesa baixa e de mesa alta. Também foram executados vinte ciclos, sendo que em dez deles a interrupção do movimento horizontal no sentido de avanço, foi realizado pela simulação do sensor de carga no equipamento, com êxitos em todos os ciclos. Nas outras dez validações onde a movimentação do protótipo é realizada até o final do trilho, o êxito aconteceu em nove ocasiões.

Tabela 4 - Resultados testes

ARMAZENAGEM AO FINAL DO TRILHO	
CICLO EXECUTADOS	10
CICLOS COMPLETOS SEM ERRO	8
CICLOS COMPLETOS COM ERRO	2
ARMAZENAGEM ATRÁS DE CARGA DETECTADA	
CICLO EXECUTADOS	10
CICLOS COMPLETOS SEM ERRO	10
CICLOS COMPLETOS COM ERRO	0
RETIRADA AO FINAL DO TRILHO	
CICLO EXECUTADOS	10
CICLOS COMPLETOS SEM ERRO	9
CICLOS COMPLETOS COM ERRO	1
RETIRADA POR CARGA DETECTADA	
CICLO EXECUTADOS	10
CICLOS COMPLETOS SEM ERRO	10
CICLOS COMPLETOS COM ERRO	0

Fonte: Autoria Própria

Apesar do sucesso em 92,5% das movimentações automáticas realizadas pelo protótipo, observou-se que o posicionamento do protótipo, em função dos sensores ultrassônicos, nem sempre foram precisos.

Além disso, observou-se que os motores escolhidos para o protótipo não possuem torque suficiente para que o mesmo se locomova dentro do trilho.

5 CONCLUSÃO

O estudo bibliográfico de CATC presentes no mercado mostrou as funções principais e equivalentes dos mesmos, e foi com base nesse que se foi esboçado o algoritmo a ser desenvolvido. Não houve êxito em movimentações automáticas dentro do trilho, todavia quando retirado do trilho, obteve-se sucesso no que se era esperado do protótipo, movimentação horizontal e acionamento de LEDs. Outro ponto a salientar seria a escolha de um motor de maior potencia e a concepção de um eixo entre as rodas, sendo estas tracionadas apenas por um motor.

A escolha da plataforma Arduino também se mostrou adequada, pela facilidade de programação e por ter um ambiente de programação gratuito.

O uso de um ambiente de simulação para validação do escopo do *firmware*, também se mostrou adequado, pois cada funcionalidade do algoritmo foi desenvolvida e testada nesse ambiente de simulação.

A implantação do *firmware*, no *hardware* e seus ajustes para o funcionamento projetado foi a última etapa do projeto, facilitada pela simulação feita anteriormente.

Com o algoritmo simulado e testado na plataforma Arduino, sensores e o circuito *driver* foram definidos para a montagem dos *hardwares* em um chassi tracionado por duas rodas motorizadas.

O objetivo geral desejada de desenvolvimento de um protótipo de CATC foi concluído de maneira satisfatório facilitado pela prévia simulação. A concepção do projeto foi de grande valia, tendo em vista que no protótipo conhecimentos de diversas áreas da Engenharia Eletrônica foram aplicadas em seu desenvolvimento.

Como trabalhos futuros, o protótipo desenvolvido permite a possibilidade de aprimoramento de funcionalidades e incremento de sua parte física, como a construção de uma base motorizada que se eleve do chassi, envio de comando sem fio, aproximando-o ainda mais aos CATC comerciais existentes no mercado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. **What is Arduino?**.Disponível em:
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em 20 de jun. de 2018

BAKOS, J. Y.The **Emerging Role of Electronic Marketplaces on the Internet**. Communication of the ACM, 1998.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1993.

BANZI, M. **Primeiros Passos com Arduino**. 1. ed. São Paulo: Novatec, v. 1, 2011.

BERTOLINI S/A. **Catálogo de Produtos**. Disponível em:
<<http://www.bertoliniarmazenagem.com.br/img/folders/catalogo-pt.pdf>>. Acesso em 20 de abr. de 2019.

BERTOLINI S/A. **Drive-In é a solução ideal para otimizar o espaço e a capacidade dos armazéns**. Disponível em:<<http://www.bertoliniarmazenagem.com.br/noticias/drive-in-e-a-solucao-ideal-para-otimizar-o-espaco-e-a-capacidade-dos-armazens/53>>. Acesso em 20 de abr. de 2019.

BOWERSOX, D; CLOSS, D; COOPER, M. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BROWN, Aaron. **Rise of the machines? Amazon’s army of more than 100,000 warehouse robots still can’t replace humans because they lack ‘common sense’**. Disponível em:< <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5808319/Amazon-100-000-warehouse-robots-company-insists-replace-humans.html>>. Acesso em 11 jul. de 2019.

CASSIOLI. **Sistema Automatizado de Armazenamento com Satélite**. Disponível em: <<http://www.cassioli.com.br/wp-content/uploads/2017/07/iSAT-POR-SPA-2017.pdf>>. Acesso em 6 de ago. de 2018.

CARNETI, Karen. **11 dados sobre o e-commerce no Brasil, segundo a Forrester Research**. Disponível em: < <https://exame.abril.com.br/tecnologia/e-commerce-no->

brasil-nao-e-dominado-por-um-unico-tipo-de-player-de-acordo-com-pesquisa-realizada-pel/>. Acesso em 10 de out. de 2018.

CYTRON TECHNOLOGIES. **HC-SR04 Ultrasonic Sensor – Product User’s Manual.**

Disponível em:

<<http://www.fonteniaud.fr/COURS/ELECTRONIQUE%20GMP2/TITRE%2000-COURS/01--THEORIE/prof/datasheet/HCSR04.2.pdf>> Acesso em: 13 jul de 2018

E-commerce Brasil. **E-commerce deve crescer 16% no País em 2019, prevê ABComm.** Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/comercio-eletronico-deve-crescer-16-no-pais-em-2019-preve-abcomm/>> Acesso em 11 de jul. de 2019

EMMETT, Stuart. **Excellence in Warehouse Management: How to Minimise Costs and Maximise Value**, 1a. Ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley and Sons Ltd, 2005.

FONTES, Jose Helder Monteiro. **Administração Logística e Patrimonial II**. 1ª ed. Aracaju: UNIT, 2013.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. São Paulo: Érica, 2008.

HANDSON TECHNOLOGY. **L298N Dual H-Bridge Motor Drive User Guide.**

Disponível em:

<<http://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>> Acesso em: 13 jul de 2018.

IEC, International Eletrotechnical Commission. **Programmable Controllers Part 3, Programming Languages, IEC61131-3**. Geneva: IEC, 1993.

LEMOS, Rogério. **ARMAZENAGEM (Introdução, Conceitos, Vantagens e Desvantagens)**. Disponível em:

<<https://institutobrasillogistico.com.br/2018/01/24/armazenagem-introducao-conceitos-vantagens-e-desvantagens-e-etc/>>. Acesso em 9 de mai. de 2019

LEMOS, Rogerio. **Tipos De Estruturas Em Armazenagem Vertical**. Disponível em: <<https://institutobrasillogistico.com.br/2018/01/25/tipos-de-estruturas-em-armazenagem-vertical/>>. Acesso em 14 de out. de 2018.

LOGISTICS BUREAU. **The 10 Most Common Pallet Racking Systems**. Disponível em: <<https://www.logisticsbureau.com/spotlight-on-the-10-most-common-pallet-racking-systems/>>. Acesso em 20 de abr. de 2019.

LUNARDI, Guilherme. **12 dados que comprovam o crescimento do e-commerce no Brasil**. Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/12-dados-que-comprovam-o-crescimento-do-e-commerce-no-brasil/>>. Acesso em 12 de out. de 2018

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados: Uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. Editora Novatec Ltda, 1ª edição. 2005.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

McROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MECALUX. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <https://mecaluxbr.cdnwm.com/catalogos-de-solucoes-de-armazenagem/catalogo-geral-de-produtos1.1.1.pdf#_ga=2.241050883.1482507963.1561130211-2051031682.1505259337>. Acesso em 6 de ago. de 2018.

MEIRIN, Helio. **As atividades de apoio da Logística**. Disponível em <<http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/as-atividades-de-apoio-da-logistica/65970/>>. Acesso em 30 de set. de 2018.

MONK, S. **Tecnologia da informação para gestão: Em busca de um melhor desempenho estratégico e operacional**. 8ª ed. São Paulo: Bookman, 2013.

MOURA, Reinaldo Aparecido. **Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais**. 6ª ed. São Paulo: IMAM, 1997.

MURRELEKTRONIK. **Pirâmide da automação industrial**. Disponível em: <<http://blog.murrelektronik.com.br/piramide-da-automacao-industrial-entenda-todas-as-camadas/>>. Acesso em 10 de jun. de 2018

NASCIMENTO, Jailton. **O que é logística**. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/o-que-e-logistica>>. Acesso em 9 de mai. de 2019

NOVAES A G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.

NUTECH. **CATÁLOGO PRODUTOS**. Disponível em: <<https://www.nutechmalaysia.com/product/47/Pallet-Shuttle-Assisted-Rack-System/>>. Acesso em: 20 de fev. de 2019.

O'BRIEN, James A. **Sistemas de Informação: e as decisões gerenciais na era da Internet**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

OLIVEIRA, Francisco. **A importância das embalagens na logística**. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/a-importancia-das-embalagens-na-logistica>>. Acesso em 19 de abr. de 2019

PLC OPEN. **IEC 61131-3: a norma para programação**. Disponível em: <https://www.plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_march04_portugues_e.pdf>. Acesso em 06 de jan. de 2019.

POTTER, Richard. TURBAN, Efraim. RAINER, Kelly. **Administração de Tecnologia da Informação**. 3. Ed. – São Paulo: Campus, 2005.

POZO, Hamilton. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: Uma Abordagem Logística**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

RAZZOLINI, Edelvino Filho. **Logística Empresarial no Brasil: Tópicos Especiais**. 1ª ed. São Paulo: Ibplex, 2007.

RODRIGUES, Enio Fernandes. **Logística de preparação e montagem de pedidos: Um estudo sobre a aplicação de sistemas na montagem de pedidos em uma editora de livros em São Paulo**. Disponível em:

<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/233_Automacao%20na%20montagem%20e%20preparacao%20de%20pedidos.pdf>. Acesso em 15 de out. de 2018.

ROSÁRIO, João Maurício. **Automação Industrial**. 1ª Ed São Paulo: Baraúna, 2009.

SANTOS, Genival. **Controle de estoque**. Disponível em <<https://administradores.com.br/artigos/controle-de-estoque>>. Acesso em 18 de abr. de 2019.

SANTOS, Guilherme. **O que é Automação Industrial?**. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em 8 jun. de 2018

SILVA, L. F.; ANTUNES, V. J. M. **Comparação entre as arquitecturas de processadores RISC e CISC**. Cidade do Porto, Portugal.

SINGH, Sarwant. Future Of Logistics: **Five Technologies That Will Self-Orchestrate The Supply Chain**. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/sarwantsingh/2016/09/22/future-of-logistics-5-technologies-that-will-self-orchestrate-the-supply-chain/#4be9c2055a63>>. Acesso em 18 de abr. de 2019

SLACK, Nigel; JOHNSTON, Robert; CHAMBERS, Stuart. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, David José. **Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A**. 8ª ed. São Paulo, SP, Brasil: Érica, 2005.

SSI SCHAFFER. **CATÁLOGO SSI ORBITER**. Disponível em: <<https://www.ssi-schaefer.com/resource/blob/311558/d6db3e813c27663ce525270e4461230f/brochure-schaefer-orbiter--system-de--dam-download-pt-2046--data.pdf>>. Acesso em 1 de mai. de 2019.

STONE, Scott. **How Pallet Racking helps store bulk materials more effectively**. Disponível em: <<https://www.processingmagazine.com/how-pallet-racking-helps-store-bulk-materials-more-effectively/>>. Acesso em 10 de mai. de 2019.

TURBAN, Efraim. KING, David. **Comércio eletrônico: estratégia e gestão**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ULMA Handling. **Shuttle**. Disponível em:
<<https://www.ulmahandling.com/br/solucoes-logisticas/armazem-automatoco/shuttle>>. Acesso em 6 de ago. de 2018.

VYSAKH. **WHAT IS A MICROCONTROLLER?** Disponível em:
<<http://www.circuitstoday.com/basics-of-microcontrollers>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

YAMAGUCHI, M. Y. **Sincronização das bases de tempo de CLPs Distribuídos numa Rede de Automação de Processo Industrial**. Disponível em
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-13122006-173720/publico/Dissertacao_Marcos_Yukio_R0_A.pdf>. Acesso em: 11 de jun. de 2018

ZORZIN, Gislaine. **Otimizando espaços e reduzindo custos**. Disponível em:<<http://www.guiadelogistica.com.br/ARTIGO411.htm>>. Acesso em: 13 abr. de 2018.

ANEXO A - Firmware Do Protótipo

```

#include <Ultrasonic.h>
#define pino_trigger 34
#define pino_trigger2 52
#define pino_echo 32
#define pino_echo2 50

Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);//sensor 1
Ultrasonic ultrasonic2(pino_trigger2, pino_echo2);//sensor 2

//declaração das variáveis
int motor_transl_av = 13;
int motor_transl_re = 12;
int motor_elevacao_sobe = 22;
int motor_elevacao_desce= 23;
int start_arm = 8;
int SensorMesaBaixa = 6;
int SensorMesaAlta = 5;
int SensorCarga = 4;
int Manual_Automatico = 44;
int AvancoMan = 3;
int RetornoMan = 2;
int ElevacaoMan_sobe = 15 ;
int ElevacaoMan_desce = 14;
int start_re = 7;
int SensorCargaNaFrente = 17;
int EtapaArmazenagem = 0;
int EtapaRetirada =0;
float s1;
float s2;
bool Sensor_Lim_Av = 0;
bool Sensor_Lim_Re = 0;
void setup()
{
  // configuração dos pinos como I/O
  Serial.begin(9600);
  pinMode(motor_transl_av, OUTPUT);
  pinMode(motor_transl_re, OUTPUT);
  pinMode(motor_elevacao_sobe,OUTPUT);
  pinMode(motor_elevacao_desce,OUTPUT);
  pinMode(start_arm, INPUT);
  pinMode(start_re, INPUT);
  pinMode(SensorMesaAlta, INPUT);
  pinMode(SensorMesaBaixa,INPUT);
  pinMode(SensorCarga,INPUT);
  pinMode(Manual_Automatico, INPUT);
  pinMode(AvancoMan, INPUT);
  pinMode(RetornoMan, INPUT);
  pinMode(ElevacaoMan_sobe, INPUT);
  pinMode(ElevacaoMan_desce, INPUT);
  pinMode(SensorCargaNaFrente, INPUT);
}

void loop()
{
  //Leitura dos sensores ultrassonicos
  long microsec = ultrasonic.timing();
  s1 = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
  long microsec2 = ultrasonic2.timing();
  s2 = ultrasonic2.convert(microsec2, Ultrasonic::CM);
  Serial.print("Distancia sensor 1: ");

```



```

Serial.println(s1);
Serial.print("Distancia sensor 2: ");
Serial.println(s2);
//-----
//Impressao das etapas dos movimentos de Retirada e Armazenagem
Serial.println("Etapa Do Movimento Retirada:");
Serial.println(EtapaRetirada);
Serial.println("Etapa Do Movimento Armazenagem:");
Serial.println(EtapaArmazenagem);
delay(100);

if(s2<=10)
{
Sensor_Lim_Av = 1;
}

if(s2>=15)
{
Sensor_Lim_Av = 0;
}
if(s1<=15)
{
Sensor_Lim_Re = 1;
}

if(s1>=10)
{
Sensor_Lim_Re = 0;
}
//-----
//Inicio Etapa Retirada
if((digitalRead(Manual_Automatico)==LOW)&&(EtapaRetirada==0))
{
EtapaRetirada=1;
delay(500);
}

if((digitalRead(start_re)==HIGH)&&(EtapaRetirada==1)&&(EtapaArmazenagem==1))
{
EtapaRetirada = 10;
EtapaArmazenagem = 0;
digitalWrite(motor_transl_av, HIGH);
digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
delay(1000);
}

if (EtapaRetirada==10&&((Sensor_Lim_Av==1)||((digitalRead(SensorCarga)==HIGH))))
{
EtapaRetirada = 20;
EtapaArmazenagem = 0;
digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
delay(1000);
}

if
((EtapaRetirada==20)&&(digitalRead(SensorMesaBaixa)==HIGH)&&((Sensor_Lim_Av==1)||((digitalRe
ad(SensorCarga)==HIGH))))
{
EtapaRetirada = 30;
}

```

```

    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe, HIGH);
    delay(1000);
}

if ((EtapaRetirada==30)&&(digitalRead(SensorMesaAlta)==HIGH))
{
    EtapaRetirada = 40;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe, LOW);
    delay(1000);
}

if (EtapaRetirada==40)
{
    EtapaRetirada = 50;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_transl_re, HIGH);
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
    delay(1000);
}

if((EtapaRetirada==50)&&(Sensor_Lim_Re==1))
{
    EtapaRetirada = 60;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
    delay(1000)
}

if((EtapaRetirada==60)&&(Sensor_Lim_Re==1))
{
    EtapaRetirada = 70;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_desce, HIGH);
    delay(1000);
}

if((EtapaRetirada==70)&&(digitalRead(SensorMesaBaixa)==HIGH))
{
    EtapaRetirada = 0;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_desce, LOW);
    delay(1000);
}
//Fim Etapa Retirada
//-----

//Inicio Etapa Armazenagem
if((digitalRead(Manual_Automatico)==LOW)&&(EtapaArmazenagem==0))
{
    EtapaArmazenagem=1;
    delay(1000);
}

if((digitalRead(start_arm)==HIGH)&&(EtapaArmazenagem==1)&&(EtapaRetirada==1)&&(Sensor_Lim
_Re==1)&&(digitalRead(SensorCarga)==HIGH))
{

```

```

    EtapaArmazenagem = 10;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe, HIGH);
    delay(1000);
}

if((EtapaArmazenagem==10)&&(digitalRead(SensorMesaAlta)==HIGH))
{
    EtapaArmazenagem = 20;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe, LOW);
    delay(1000);
}

if(EtapaArmazenagem==20)
{
    EtapaArmazenagem = 30;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_transl_av, HIGH);
    digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
    delay(1000);
}

if((EtapaArmazenagem==30)&&((Sensor_Lim_Av==1)||(digitalRead(SensorCargaNaFrente)==HIGH)))
{
    EtapaArmazenagem = 40;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
    digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
    delay(1000);
}

if((EtapaArmazenagem==40)&&((Sensor_Lim_Av==1)||(digitalRead(SensorCargaNaFrente)==HIGH)))
{
    EtapaArmazenagem = 50;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_desce, HIGH);
    delay(1000);
}

    if((EtapaArmazenagem==50)&&(digitalRead(SensorMesaBaixa)==HIGH))
    {
        EtapaArmazenagem = 60;
        EtapaRetirada = 0;
        digitalWrite(motor_elevacao_desce, LOW);
        delay(1000);
    }

if(EtapaArmazenagem==60)
{
    EtapaArmazenagem = 70;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_transl_re, HIGH);
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
    delay(1000);
}

if((EtapaArmazenagem==70)&&(Sensor_Lim_Re==1))
{
    EtapaArmazenagem = 0;
    EtapaRetirada = 0;
    digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
}

```

```

    delay(1000);
}

//Reset manual dos movimentos quando passa a chave para o modo Manual

if((digitalRead(Manual_Automatico)==HIGH)&&(digitalRead(AvancoMan)==LOW)&&(digitalRead(RetornoMan)==LOW)&&(digitalRead(ElevacaoMan_sobe)==LOW)&&(digitalRead(ElevacaoMan_desce)==LOW))
{
    EtapaRetirada = 0;
    EtapaArmazenagem = 0;
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe, LOW);
    digitalWrite(motor_elevacao_desce, LOW);
    digitalWrite(motor_transl_av, LOW);
    digitalWrite(motor_transl_re, LOW);
}
//Operação Manual
if((digitalRead(Manual_Automatico)==HIGH)&&(digitalRead(AvancoMan)==HIGH))
{
    digitalWrite(motor_transl_av,HIGH);
    digitalWrite(motor_transl_re,LOW);
}

if((digitalRead(Manual_Automatico)==HIGH)&&(digitalRead(RetornoMan)==HIGH))
{
    digitalWrite(motor_transl_re,HIGH);
    digitalWrite(motor_transl_av,LOW);
}

if((digitalRead(Manual_Automatico)==HIGH)&&(digitalRead(ElevacaoMan_sobe)==HIGH))
{
    digitalWrite(motor_elevacao_sobe,HIGH);
}
if((digitalRead(Manual_Automatico)==HIGH)&&(digitalRead(ElevacaoMan_desce)==HIGH))
{
    digitalWrite(motor_elevacao_desce,HIGH);
}
}
}

```