

Diego Fortunato de Oliveira, Mateus Faria Soares, Vitor de Oliveira, Vitor Emanuel  
Rodrigues França

# **Sistema de controle de galpão de logística para Automação Industrial**

Belo Horizonte

2022



Diego Fortunato de Oliveira, Mateus Faria Soares, Vitor de Oliveira, Vitor Emanuel  
Rodrigues França

## **Sistema de controle de galpão de logística para Automação Industrial**

Trabalho de conclusão de curso entregue ao SENAI  
CETEL Horto como requisito para a conclusão do  
curso técnico de Automação Industrial.

SENAI Horto

CETEL

Curso Técnico em Automação Industrial

Orientador: Caio César de Oliveira Nascimento

Belo Horizonte

2022



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaríamos de agradecer a Deus, por sempre nos dar força para continuar e nos tornar profissionais cada dia mais qualificados.

Em segundo plano, agradecemos a nossos pais, que possibilitaram tudo isso, e nos deram apoio durante todo o processo.

Agradecemos a todos os instrutores e colaboradores do curso, dando ênfase ao Caio, que nos acompanhou desde o início e prestou todo o suporte necessário.

Agradecemos também aos nossos colegas pela boa convivência e ao apoio prestado durante o curso.



## Resumo

Este trabalho propõe o uso de um sistema de controle automatizado para galpões de um centro de logística. A planta criada apresenta três processos, sendo manipulada por dois microcontroladores, um Arduino Uno e um ESP-01, que se comunicam por Serial UART. O ESP-01 é tomado como mestre dos processos, já que recebe comandos do supervisório e processa para que o Arduino consiga executar as ações desejadas nos atuadores e nos sensores, para que sejam cumpridos os processos de adição, remoção e substituição de mercadorias. A conexão entre o supervisório online e o ESP-01 foi feita de maneira pertinente e funcional pelo MQTT, possibilitando a interpretação de dados e a conversão da ordem dada para a ação do robô.

**Palavras-chave:** Automação. Arduino. Robô.

## **Abstract**

This work proposes the use of a automatized control system for warehouses and logistic centers. The created plant presents three processes, being manipulated by two microcontrollers, an Arduino and an ESP-01, that interact between themselves by the Serial URT connection. The ESP-01 is considered the master of the processes, once it take the commands of the supervisory software and processes it to the Arduino, for it to execute the actions requested on the actuators and the sensors, enabling it to accomplish the addition, removal and replacement of packages. The connection between the online supervisory software and the ESP-01 was well done by the MQTT protocol, making possible the data interpretation and the conversion of the request to an action of the robot.

**Key-Words:** Automation. Arduino. Robot.



## Lista de Abreviaturas e Siglas

I2C            Inter-Integrated Circuit

MQTT        Message Queuing Telemetry

## SUMÁRIO

1 Introdução .....	14
1.1 Motivação.....	14

1.2	Objetivos .....	14
1.2.1	Objetivos específicos .....	15
2	Referencial Teórico .....	15
2.1	Automação da logística .....	15
2.2	Arduíno .....	17
2.2.1	Hardware .....	17
2.2.2	Software .....	18
2.3	Sensores e atuadores .....	18
2.3.1	Sensor de obstáculo Ir Lm393 .....	18
2.3.2	Sensor seguidor de linha TCRT5000 .....	18
2.3.3	Sensor de cor TCS230 - GY-031 .....	19
2.3.4	Acelerômetro MPU6050 .....	19
2.4	Protocolo MQTT .....	19
2.4.1	Funcionamento MQTT .....	20
2.5	IIoT .....	20
2.6	Robôs Móveis .....	20
2.6.1	Uso dos robôs na indústria .....	21
3	Projeto e resultados .....	22
3.1	Visão geral do sistema .....	23
3.1.1	Sistema automatizado de recebimento de mercadorias .....	25
3.1.2	Sistema automatizado de estocagem de mercadorias .....	25
3.1.3	Sistema automatizado de locomoção .....	25
3.2	Configuração de <i>hardware</i> do sistema .....	26
3.2.1	Conexão de microcontroladores .....	26
3.3	Configuração de <i>software do sistema</i> .....	27
3.3.1	Software do ESP-01 .....	27
3.3.2	Software do Arduino UNO .....	28
3.4	Resultados .....	29
3.4.1	Sistema de controle .....	29
3.4.2	Protocolos de comunicação .....	31
3.4.3	Software supervisorio .....	32
4	Conclusão .....	34



# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

A indústria logística brasileira é um setor muitas vezes antiquado e ineficiente. Diversos problemas como mercadorias danificadas, violadas ou perdidas dentro de galpões de distribuição são comuns para os consumidores de tal serviço, já que acontecem com frequência. A automação de armazéns em território brasileiro (e internacional) já é realidade em algumas empresas, porém é um processo excessivamente caro e com algumas falhas.

Desse modo, visando aumentar a eficiência e diminuir os custos, o projeto desenvolvido pelo nosso grupo torna a chegada da indústria 4.0 para a indústria mais acessível. Assim, o projeto apresenta um avanço informacional e uma diminuição dos problemas relatados, assim como um aumento na segurança de todo o processo.

## 1.2 Objetivos

Desenvolver e instalar um sistema de automação, controle e supervisão de um galpão de armazenagem de mercadorias diversas, realizado por um robô com 2 controladores, um Arduino Uno e um ESP-01.

O uso de dois controladores se deve a necessidade de um para acessar a internet e outro para realizar as ações dentro do sistema. O ESP-01 é uma placa com receptor wi-fi, porém com poucas entradas digitais, o que justifica o uso do Arduino Uno aliado a ele para que a quantidade de portas seja suficiente. Além disso, a placa com acesso a rede é a que recebe os comandos do supervisor e assim dá as ordens ao Arduino para que ele comande os componentes.

O protocolo de conexão entre os dois microcontroladores é o Serial UART, já entre o Arduino e o sensor de giroscópio do robô é a I2C. As conexões entre os controladores e o restante dos sensores são digitais e analógicas. Assim, podemos dividir as atividades a serem feitas da seguinte maneira:

- Sistema de distribuição de mercadorias em forma de prateleira

- Supervisório online em forma de website da empresa
- Trajetória em forma de linha para ser percorrida pelo robô
- Montagem e manutenção de um robô móvel em forma de empilhadeira
- Integração entre o galpão e o supervisório por meio do MQTT.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- Corte e montagem das peças do galpão e do robô a laser em MDF, para o protótipo;
- Programação e busca do host do website em HTML;
- Programação dos sketches e conexão dos microcontroladores do robô;
- Traçar e pintar o caminho a ser percorrido pelo robô da esteira até a área de armazenagem, que irá simular uma empilhadeira em pequeno porte;
- Elaborar um plano de marketing para promover o sistema a ser desenvolvido;
- Calcular os gastos do projeto;

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Automação da logística

De acordo com Alessandra de Paula (2021), no Brasil, a logística está passando por um período em que suas práticas estão sendo colocadas em xeque, principalmente quanto à eficiência e qualidade. Isso significa que o projeto apresentado de galpão inteligente é algo revolucionário para a indústria logística nacional, que evidencia os avanços para a nova era do setor que será marcado por uma automatização extrema e melhora na eficácia do processo, assim como sua segurança.

"Transporte e logística INTELIGENTES podem atingir 99,5% de precisão com o uso de RFID, 30% de Redução nos custos trabalhistas e 30% mais velocidade no processamento de pedidos" (Proxion, 2020). Com isso, podemos concluir que a integração de novas técnicas de gerenciamento de mercadorias expressa uma evolução impressionante para os serviços de armazenamento e entregas de produtos, além de aumentar a fidelidade dos clientes e a reputação da empresa, já que ela estará a frente das outras que ainda não adotaram o modelo totalmente automatizado.

"Nós somos conhecidos por sermos apaixonados pela inovação para os clientes, mas ser capaz de inovar com robôs para nossos funcionários é algo que me dá um impulso de motivação todos os dias" (Kevin Keck, 2021). A integração de sistemas automatizados em um processo logístico gera não só aumento na eficiência do mesmo, mas a melhora geral no ambiente de trabalho e na harmonia da indústria. De acordo com Kevin, mesmo com mudanças drásticas como essa na linha de armazenamento de produtos, a equipe humana ainda deve ser muito valorizada já que realiza o papel crítico da situação.

De acordo com o artigo "The Injury Machine" (2022), o índice de injúrias em um galpão da Amazon é mais do que o dobro do de um galpão convencional. Assim, considerando que o galpão da Amazon é um processo vastamente automatizado que se assimila ao projeto desenvolvido pelo grupo, é imprescindível a utilização de sistemas de segurança e a aplicação dos mesmos no sistema. Tal necessidade motiva o uso de sensores de presença integrados à programação para evitar qualquer acidente ou choque no ambiente de trabalho. Ou seja, julgando por modelos similares, podemos identificar problemas estruturais do projeto e preveni-los.

De acordo com a empresa McKinsey & Company (2019), o mercado de logística enfrenta uma crescente escassez de trabalhadores, uma explosão de demanda dos revendedores online, e intrigantes avanços tecnológicos, e isso vai fazer com que o setor de logística se torne o terceiro mais automatizado. Isso expõe a necessidade de um sistema que supra todas as exigências citadas anteriormente, o



que tem que ser obrigatoriamente um processo automatizado, visto que não há funcionários o suficiente para a demanda de serviços. Assim, o sistema automatizado desenvolvido pelo grupo apresenta uma proposta simples e eficaz de automatizar esse processo e suprir as necessidades do mercado.

De acordo com o U.S Bureau of Labor Statistics (2021), um galpão típico custa mais de \$3,7 milhões por ano em despesas de funcionários, sem contar com seguros, benefícios e horas extras. Isso demonstra que um galpão não automatizado apresenta elevados custos com funcionários que acabam diminuindo extremamente o lucro e a viabilidade do processo de uma empresa de armazenamento e entregas. Desse modo, um galpão automatizado apresentaria um custo de produção muito menor, já que realoca várias vagas de emprego e diminui as que não são mais necessárias, viabilizando mais capital para investimento e posterior aumento na estrutura.

## 2.2 Arduíno

Arduino é uma plataforma para o desenvolvimento de um projeto eletrônico (ou prototipagem eletrônica, como é comumente chamado), que integra tanto hardware quanto software. O principal componente de uma placa Arduino é seu microcontrolador, que nada mais é que um pequeno processador de computador montado em uma placa com diversos outros componentes que manipulam sua entrada e saída, com o propósito de tornar mais fácil para o usuário conectar o mundo físico ao seu redor com o mundo digital (ELETROGATE, 2020). Assim, é ideal para projetos em que a mobilidade é essencial, já que seu pequeno porte e sua flexibilidade viabilizam um grande leque de possibilidades.

### 2.2.1 Hardware

O Arduino usado no projeto é o Uno. Neste modelo, a placa pode ser alimentada tanto pelo cabo USB como por adaptador AC/DC. Todos os recursos do microcontrolador estão disponibilizados para interagirem com o mundo externo. Em geral, as entradas analógicas são utilizadas para ler sensores externos e as saídas PWM e outputs digitais são utilizadas para controlar motores e atuadores e acionar drivers para cargas externas. (ELETROGATE, 2020).

### 2.2.2 Software

A IDE do Arduino possui campo de digitação para que o código seja inserido, além de contar com um console, área de mensagens e barra de ferramentas. O IDE é o que determina as ações do microcontrolador por meio do código, que é originalmente C ou C++. Porém pela IDE ser open source, uma série de variações estão disponíveis para serem usadas. (ELETROGATE, 2020).

## 2.3 Sensores e atuadores

Um sensor é um dispositivo que tem a função de detectar e responder efetivamente a um estímulo específico. Existem diversos tipos de sensores que respondem a diferentes estímulos como calor, pressão, movimento, luz e muito mais. Após o sensor receber um estímulo, sua função é produzir um sinal que pode ser convertido e interpretado por outros tipos de dispositivos, como atuadores e transmissores. (MATTEDE)

### 2.3.1 Sensor de obstáculo Ir Lm393

O sensor de obstáculos é um circuito embutido no emissor e receptor IR, assim como o IC comparador LM393, que facilita sua conexão com o Arduino, PIC ou Raspberry Pi, pois sua tensão é de 3,3-5V. Quando o módulo detecta uma barreira na frente do sinal, ele acende a luz indicadora verde em um nível fixo, o módulo recebe uma distância de 2 a 30 cm, o ângulo de visão é de 35 °, a distância pode ser ajustada por um potenciômetro relógio; no sentido anti-horário, ele reduz a distância de aquisição. A porta OUT do módulo do sensor de saída pode ser conectada diretamente à porta IO do microcontrolador, e o usuário pode acionar diretamente um relé de 5V; Conexão: VCC-VCC; GND-GND; OUT. (ADROBÓTICA).

### 2.3.2 Sensor seguidor de linha TCRT5000

O Sensor Seguidor de Linha TCRT5000 é um módulo eletrônico comumente utilizado em projetos robóticos. Projetos robóticos lineares com controles microcontrolados costumam usar esse tipo de sensor. Ele tem a capacidade de detectar o caminho a ser percorrido a partir de uma linha que pode ser branca (o solo deve ser preto) ou preta (o solo deve ser branco). A partir das frequências liberadas pelo sensor, ele continuará mantendo seu trajeto, que neste caso é a linha. A base de

trabalho do Sensor Seguidor de Linha TCRT5000 é o sensor de luz TCRT500, que é um sensor infravermelho (emissor e receptor) operando a partir de sinais de luz. (OLIVEIRA, 2022).

### 2.3.3 Sensor de cor TCS230 - GY-031

O Módulo Sensor de Cor TCS230 - GY-031 é um módulo desenvolvido pelo circuito integrado do sensor TCS230, que pode ler cores, capturar luz, filtrar as cores recebidas e então produzir um sinal de onda quadrada que transmite informações para intensificar as cores-chave. O sensor TCS230 é um módulo composto por 64 fotodiodos divididos da seguinte forma: 16 filtros vermelhos, 16 filtros verdes, 16 filtros azuis e 16 sem filtro. Além disso, o sensor possui quatro LEDs de cor branca e oito conectores. Também pode ser utilizado com algumas áreas controladas para projetos onde há necessidade de identificação de objetos coloridos, como separadores em esteiras, contadores, sensores de barreira, entre outros. (BAÚ DA ELETRÔNICA)

### 2.3.4 Acelerômetro MPU6050

O MPU6050 é um sensor de seis eixos, o que significa que oferece seis valores como saída. Três valores de acelerômetro (correspondentes aos eixos X, Y e Z) e três valores de giroscópio. Tanto o acelerômetro quanto o giroscópio estão embutidos em um único chip que usa o protocolo I2C para se comunicar com o controlador, que no caso específico, é o Arduino.

## 2.4 Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação diário popular (Machine to Machine - M2M). Isso ocorre porque o MQTT está se tornando um dos princípios básicos da implementação da Internet das Coisas (IoT), uma prática usada na indústria ou na vida humana cotidiana. O protocolo MQTT foi desenvolvido pelos engenheiros Andy Stanford-Clark e Arlen Nipper em 1999. A ideia era conectar sistemas de telemetria via satélite via satélite, e hoje tem muito potencial. Inicialmente este era um protocolo privado, mas em 2010 foi lançado com benefícios e tornou-se o padrão para OASIS em 2014 (FERNANDES, 2021).

### 2.4.1 Funcionamento MQTT

Basicamente, o protocolo permite o envio de mensagens e comandos entre dispositivos habilitados para MQTT via TCP/IP. Este é projetado para transferir apenas os dados solicitados, há uma melhora no desempenho de baixa largura de banda, não sobrecarregando a internet com o dispositivo e, assim, melhora a comunicação entre vários dispositivos. Outra vantagem trazida pelo MQTT é a codificação mais simples, o que facilita a execução dele em sistemas modernos ou sistemas com problemas de armazenamento. (FERNANDES, 2021). Pela simplicidade e praticidade do protocolo, ele é o ideal para realizar a comunicação entre os microcontroladores e o supervisor hosteado em um website, com rápida resposta e envio de informações.

## 2.5 IIoT

A IIoT consiste em dispositivos online e plataformas de análise avançada que processam os dados gerados. Os dispositivos IIoT variam de pequenos sensores naturais a robôs industriais complexos. O termo "industrial" pode se referir a armazéns, instalações de transporte e áreas industriais, mas a tecnologia IIoT pode fazer muito em muitos setores, incluindo agricultura, saúde, serviços financeiros, varejo e marketing (HEWLETT, 2021). Desse modo, a IIoT é o que permite ao nosso grupo realizar a instalação do sistema e o seu pleno funcionamento em um meio de indústria.

## 2.6 Robôs Móveis

Robôs Móveis Autônomos são dispositivos que podem realizar tarefas e movimentar-se pelo armazém sem a necessidade de um supervisor. Robôs independentes equipados com sensores avançados, software de inteligência artificial e sistemas de armazenamento digital, que permitem definir o ambiente. Os AMRs geralmente são responsáveis pela movimentação de unidades de trabalho leves (como caixas), embora também existam robôs prontos para movimentar paletes. No

armazém, os robôs móveis são integrados ao software de controle WCS (Warehouse Control System), que é conectado ao WMS (Warehouse Management System). Com a ajuda deste software, o AMR rastreia rotas de tráfego aprimoradas, identifica e evita obstáculos que cruzam seu caminho (MECALUX, 2020).

### 2.6.1 Uso dos robôs na indústria

Durante muito tempo, o trabalho de transporte de mercadorias dentro da indústria foi feito à mão. Muitos operadores são designados apenas para esta tarefa: transportar cargas de um lugar para outro. No contexto da 4ª Revolução Industrial, já não faz sentido trabalhar desta forma. Hoje já é possível encontrar robôs móveis com sensores, câmeras e scanners. Os melhores modelos podem trabalhar por 20 horas sem pausas, podem carregar até 200kg e puxar até 500kg. Assim, o processo de transporte é muito mais rápido, inteligente e eficiente e permite aos operadores atribuir tarefas onde a atividade humana é realmente necessária. Tudo isso demonstra o advento da Internet das Coisas no mundo industrial. Robôs móveis fazem parte desse time de tecnologia, pois são conectados, inteligentes, controlados online e totalmente conectados no mundo digital. (PORAZZA, 2018)

### **3 Projeto e resultados**

Este capítulo detalha a prototipagem e o desenvolvimento do projeto geral, assim como seu sistema e componentes. O protótipo é uma miniaturização do projeto teórico com funcionamento semelhante ao mesmo, porém com componentes que se diferem.

### 3.1 Visão geral do sistema

Com a divisão do sistema entre projeto e protótipo, os materiais usados também variam entre os que foram realmente utilizados para realizar a montagem física, e os que foram estudados e selecionados para compor o projeto do campo das ideias. A seguir estão listados os materiais usados para compor o protótipo:

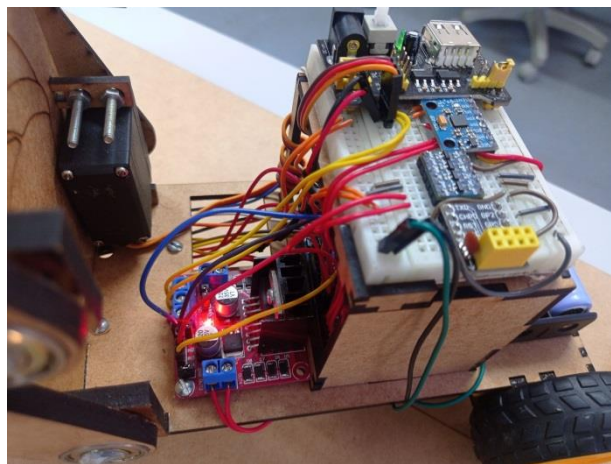


Figura 1 – Materiais do protótipo

- 1 Arduino UNO;
- 1 ESP-01;
- 1 computador *desktop*
- Jumpers
- Leds
- 1 Par de rodas
- MDF (carcaça)
- Dispositivos sensores
- Dispositivos atuadores
- 1 Fonte
- 1 Par de baterias

O Arduino recebe ordens do ESP-01, por meio de conexão I2C, que recebe as ordens do supervisor no computador, por meio da conexão MQTT. Pode-se dividir o

funcionamento deste processo como um só sistema individual, de recebimento, locomoção e armazenamento do produto.

Quanto ao projeto propriamente dito, os materiais diferem em parte do protótipo, porém representam apenas variações dos mesmos em escala maior, considerando as proporções e circunstâncias do sistema projetado. Podemos dividir os sistemas entre recebimento e identificação, locomoção e estocagem, que é dividida entre adição de mercadorias, substituição ou remoção. Assim, é possível citar como materiais os seguintes componentes:

- Placa de desenvolvimento UDOO Bolt V3
- 1 sensor Lidar
- 3 Motor de passo Nema 34
- 4 rodas Omni wheel
- Bateria
- Chassi
- 3 drive motor de passo

Desse modo, é possível considerar o protótipo como uma miniatura do projeto real, que atenda à demonstração das funcionalidades com orçamento e dimensão drasticamente menores.

Assim, é possível estabelecer uma relação de preços na cotação atual. Foi estimado um custo mínimo de R\$14300,00 considerando o custo pesquisado dos componentes citados anteriormente da seguinte forma:

Quantidade	Componentes	Preço
1	UDOO Bolt V3	R\$ 3.148
1	Sensor Lidar	R\$ 4.794
3	Motor de Passo Nema 34	R\$ 609
1	Omini Wheel	R\$ 842
1	Bateria	R\$ 2.380
1	Chassi	R\$ 2.032
3	Drive Motor de passo	R\$495

Figura 2 - Tabela de custos dos materiais



O software supervisor permite a escolha do espaço de estocagem e a ação a ser realizada pelo robô, além de indicar localização dos atuadores do sistema e possibilitar visualização do estoque de mercadorias que serão adicionadas pelo mesmo com o leitor de código de barras e possuir sistema de alarme relacionado a interferências no processo.

### 3.1.1 Sistema automatizado de recebimento de mercadorias

Ao receber a mercadoria por meio da esteira localizada perpendicularmente à base, o robô realiza a catalogação e leitura do produto no banco de dados do sistema, e aguarda por ordens para realizar ação da estocagem do produto.

Essa ordem é dada pelo funcionário controlador no supervisor, ou de maneira automatizada pelo próprio sistema caso não haja vontade específica quanto ao espaço de armazenamento da mercadoria.

### 3.1.2 Sistema automatizado de estocagem de mercadorias

Ao receber a ordem de adição pelo supervisor, o robô inicia o processo escolha da célula de armazenamento que será usada para depositar a mercadoria nas prateleiras. Assim, após o processo de locomoção, ele irá levantar a mercadoria com os braços da empilhadeira e deixar na célula escolhida.

Caso escolha remoção de uma mercadoria, o robô se locomove até a célula em que a mercadoria escolhida está, e levanta a mesma, levando até a área de distribuição externa do galpão.

### 3.1.3 Sistema automatizado de locomoção

Ao receber qualquer ordem, o robô localiza os outros nos caminhos para evitar colisões ou interferências e garantir a maior velocidade possível no processo. Assim, ao garantir as melhores condições para realizar a ação, o robô segue o caminho demarcado até a célula e para perpendicular a ela.

## 3.2 Configuração de *hardware* do sistema

Esta seção disponibiliza informações relacionadas a configuração do *hardware* do sistema, focando na conexão entre os microcontroladores e seus sensores e atuadores.

### 3.2.1 Conexão de microcontroladores

O ESP-01 e o Arduino Uno estão ligados em todos os sensores e atuadores do sistema, e são responsáveis por realizar o controle e recebimento de informações dos mesmos. Desse modo, há uma alta demanda por entradas digitais dentro do sistema, o que limita a conexão de novos dispositivos aos microcontroladores. Assim, é possível ilustrar as conexões da seguinte maneira:

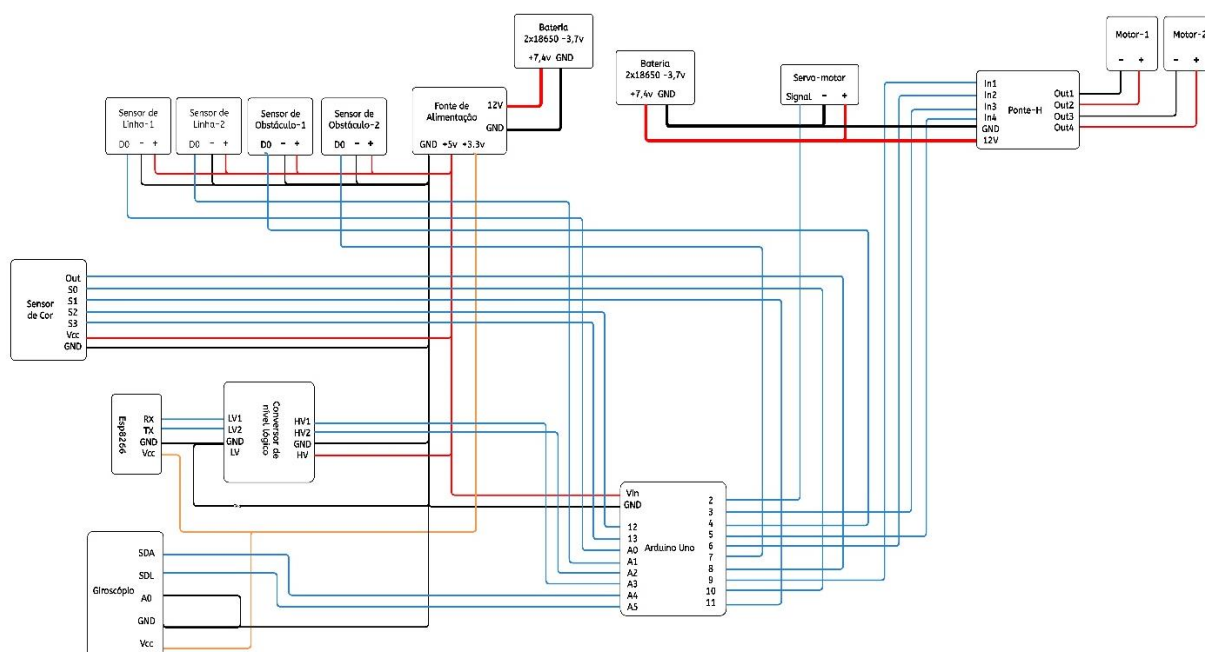


Figura 3 – Diagrama elétrico do robô. Disponível em: <https://imgur.com/a/XvuMwND>

Assim, a energia é distribuída para o sistema pela ponte gh, que recebe diretamente da fonte. Os atuadores utilizados são motores destinados à locomoção do robô pelo caminho delimitado, e servo-motores utilizados com a finalidade de realizar o movimento de subida e descida do braço da empilhadeira, para que o robô consiga realizar a manipulação das mercadorias de maneira eficiente.

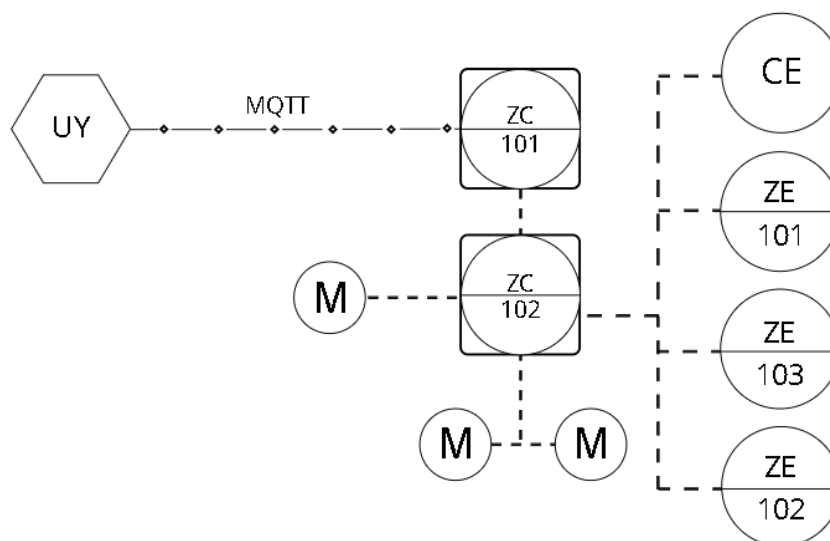


Figura 4 - Diagrama P&ID do processo

O diagrama elétrico ilustra de maneira externa ao robô as conexões contidas no processo, desde os atuadores e sensores com os microcontroladores, até a conexão deles com o supervisor por meio do MQTT.

### 3.3 Configuração de *software do sistema*

Esta seção disponibiliza a descrição dos processos de programação do sistema. Os dispositivos programáveis são o ESP-01 e o Arduino Uno, além do supervisor em HTML.

A programação do Arduino é feita na linguagem C, tendo como funções básicas primordiais para seu funcionamento a *void setup()* que garante a inicialização e configuração do Arduino assim que ele é iniciado, e a *void loop()* que tem como função garantir a execução cíclica do *sketch* durante o tempo determinado.

#### 3.3.1 Software do ESP-01

O ESP-01 foi usado como controlador intermediário entre o supervisor e o Arduino, então sua programação é sucinta, já que seu único objetivo é interligar os dois sistemas.

```
//Supervisório
//onMessageArrived(); Função que verifica as mensagens no broker mqtt
//sendToMqtt(); Função que envia mensagens ao broker mqtt
```

Figura 5 - Programação do ESP-01

Ele trabalha em conjunto com o MQTT para realizar essa troca de mensagens, já que diferente do Arduino UNO, ele possui um módulo WiFi integrado. As bibliotecas utilizadas estão listadas abaixo:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
```

Figura 6 - Bibliotecas usadas no ESP-01

A biblioteca ESP8266WiFi.h é responsável por possibilitar o uso do WiFi pelo microcontrolador.

A biblioteca PubSubClient.h é responsável por integrar o protocolo MQTT, que permite a comunicação com o supervisório.

### 3.3.2 Software do Arduino UNO

Por ter a função de dar ordens e receber dados dentro do sistema, o Arduino UNO é o que possui a maior programação. Suas funções englobam a verificação de variáveis e a troca delas dentro do processo. Assim, sua programação é inevitavelmente extensa se comparada a do ESP-01 e ele comanda todo o processo de campo e processa os dados recebidos pelos sensores para tomar decisões, caracterizando um sistema de malha fechada. É possível ilustrar as funções do Arduino com a figura abaixo:

```
// Arduino UNO
//ordEsp(); Função que verifica as mensagens recebidas do Esp8266
//lineFlw(); Função que segue as linhas do trajeto
//rAngle(); Função que controla o ângulo do servo motor
//Gyro(); Função que atualiza e retorna o estado do sensor giroscópio
//motorControl(); Função que controla os motores
//driveStr(); Função que utiliza o giroscópio para andar em linha reta
//driveTurn(); Função que utiliza o giroscópio para realizar a rotação do robô
//smothS(); Função que define define um trajeto, amortecido para o servo motor
//knowColor(); Função que retorna a incidência de uma cor captada pelo sensor de cor
//SetNewZero(); Função que define um novo ponto 0, para que driveStr(), siga esse ponto
```

Figura 7 - Funções usadas no Arduino UNO

Quanto às bibliotecas usadas, é possível listar as seguintes:

```
#include <MPU6050_tockn.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

Figura 8 - Bibliotecas usadas no Arduino UNO

Onde, *MPU6050\_tock.h* é relacionada ao sensor giroscópio, *Wire.h* é relacionada à comunicação I2C exercida também com o giroscópio e *SoftwareSerial.h* é relacionada à comunicação exercida com o ESP-01.

## 3.4 Resultados

Este módulo irá retratar o desfecho do desenvolvimento do projeto descrito anteriormente. A prototipagem não conta com todas as funções do projeto completo, visto que foram impostas limitações extremas sobre fatores como orçamento e processamento de materiais, além de demandar habilidades avançadas do ofício da programação como um todo.

### 3.4.1 Sistema de controle

#### 3.4.1.1 Verificação de Valores

Por meio da ferramenta Serial Monitor contida na IDE do Arduino a resolução de problemas lógicos relacionados à programação pôde ser realizada. A ferramenta possibilita a visualização e localização de erros de leitura, o que serviu para realizar testes nos componentes ligados ao Arduino UNO.

Assim, o *debugging* da programação foi realizado com o auxílio de tal funcionalidade individualmente, testando a leitura de dados e o envio de comandos para os atuadores.

#### 3.4.1.2 Sistema de galpão automatizado

Ao realizar testes de reconhecimento com os sensores de cor e linha, foi constatada a faixa de proximidade deles com o chão deve ser entre 1cm e 2cm, para que sejam evitados problemas e erros de reconhecimento do trajeto a ser percorrido pelo protótipo. Assim, o caminho traçado teve que satisfazer a espessura mínima em relação à distância em que os sensores foram posicionados;

Com os códigos realizados, o robô foi capaz de seguir o trajeto quando recebia a ordem do supervisor e parar a uma distância segura das prateleiras de armazenagem. Como o contraste entre a linha a ser percorrida e o restante da superfície deve ser grande, a pintura da base de preto se tornou uma opção viável, já que possibilitaria uma fácil demarcação da trajetória em branco, para que os sensores conseguissem distinguir exatamente o caminho.

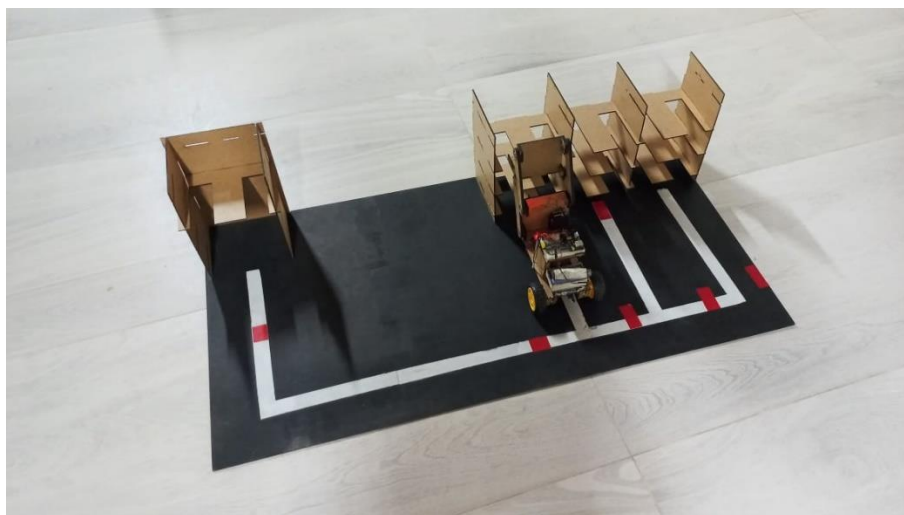


Figura 9 - Modelo de galpão de armazenagem

As prateleiras foram desenvolvidas de modo com que o braço da empilhadeira passe por elas, mas que a caixa da mercadoria fique sobre uma de suas células com o movimento de descida do robô feito pelo servo mecânico.

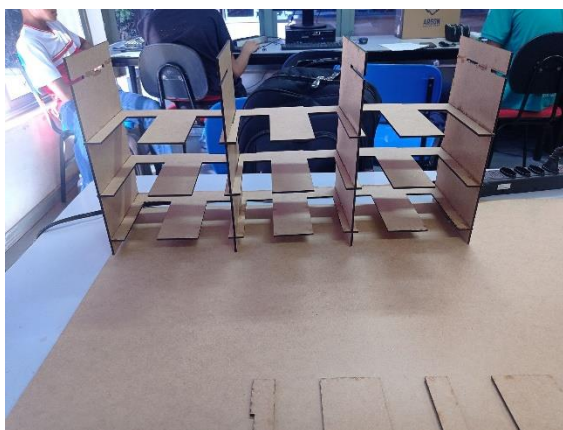


Figura 10 - Prateleiras

#### 3.4.1.3 Sistema de robô-empilhadeira

O robô construído para prototipagem tem o objetivo de levar a mercadoria até as prateleiras percorrendo o caminho delimitado na base. Assim, a adoção de uma

forma semelhante à uma empilhadeira foi uma decisão importante quando considerados os fatores de armazenagem final. Assim, o robô conta com duas rodas fixas cruzadas por um eixo-motor que se intercalam para realizar curvas, e uma roda não controlada com rotação variável na frente.

O motor movido pelo Arduino UNO e alimentado por baterias tem como função realizar a locomoção do robô. Quanto ao braço da empilhadeira, seu movimento é realizado pelo servo motor e possibilitado pelos rolamentos que compõe a junção de suas partes e teve sua altura máxima medida em 29cm, o que serviu de parâmetro para o desenvolvimento das prateleiras citadas anteriormente.

Quanto a alimentação, a utilização da alimentação de todo o circuito pela ponte gh foi em parte falha, visto que o Arduino UNO reiniciava quando o servo motor era acionado. Assim, foi verificado que a solução para tal problema seria a alimentação isolada do servo motor, para que não interferisse na corrente que chegava ao microcontrolador, o que foi um sucesso.

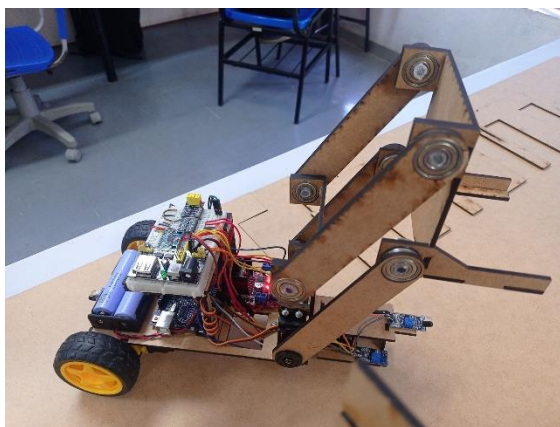


Figura 11 - Robô empilhadeira

### 3.4.2 Protocolos de comunicação

#### 3.4.2.1 Protocolo I2C

O protocolo de comunicação I2C foi de grande utilidade para o funcionamento do sistema. Ele permitiu a conexão entre o ESP-01 e o Arduino UNO, tornando possível envio de dados levantados pelo Arduino para o supervisor por meio do módulo WiFi contido no ESP-01 de forma que a troca de dados entre os dois microcontroladores é feita de maneira ágil e precisa.

### 3.4.2.2 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT possibilitou a integração entre o robô de campo e o supervisório remoto de maneira simples e extremamente eficiente. Apesar de possuir um certo nível de *delay* na troca de informações, foi um protocolo de fácil implantação que exigiu pouco esforço se comparado a alguns dos outros protocolos, além de ter funcionado de maneira excepcional, sem apresentar erros complexos.

### 3.4.3 Software supervisório

O Software supervisório foi desenvolvido em forma de um website, programado na linguagem HTML. Ele possui a função de dar a ordem para que o robô localizado no campo cumpra, independente da distância entre os dois. Ao abrir o site, o usuário precisa esperar alguns segundos para que ele se conecte a rede. Após isso, ele ficará à espera do robô que também possui um indicador de conexão indicado no supervisório.

Quando ambos estiverem com o status de conectado, então a comunicação por meio do protocolo MQTT estará estabelecida. Assim, a empilhadeira irá aguardar por uma ordem do operador para que realize a ação indicada por ele, e leve a mercadoria até as prateleiras.

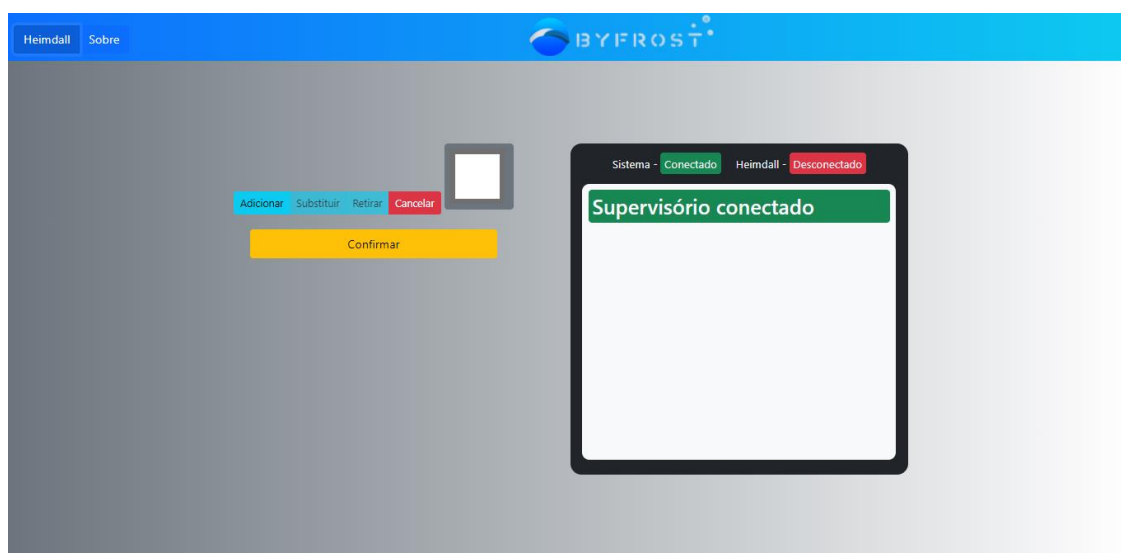


Figura 12 - Tela de controle do supervisório

Ao pressionar “adicionar” e escolher a célula disponibilizada, clicando em confirmar o microcontrolador ESP-01 na empilhadeira recebe a ordem e passa rapidamente para o Arduino UNO, que inicia a trajetória até a célula.



Além disso, o site conta com funções estéticas relacionadas a empresa criada, assim como uma breve explicação do projeto desenvolvido no trabalho. Durante o desenvolvimento do supervisor não houveram problemas cruciais de conexão ou leitura de dados, além do pequeno atraso citado anteriormente.

## 4 Conclusão

O trabalho apresentou ao setor da logística industrial uma solução para problemas estruturais de atraso e ineficiência. Por meio de uma integração entre *hardware* e *software* com microcontroladores e um supervisor online, o uso de sensores e atuadores no processo se tornou viável e funcional.

O intuito da proposta apresentada é que o uso dos funcionários operadores do sistema seja dispensável, exigindo apenas um operário para comandar o processo caso o modo manual esteja acionado. Assim, o processo se torna mais barato, eficiente e seguro.

De maneira miniaturizada, o protótipo foi desenvolvido para representar o projeto criado, utilizando conceitos aprendidos durante todo o curso, como protocolos de conexão, programação de Arduino e acionamentos eletroeletrônicos.

Apesar de o circuito ter apresentado problemas de alimentação, o uso do Arduino UNO e do servo motor em conjunto foi possibilitado ao adicionar uma alimentação extra no circuito. Assim, o trabalho físico foi concluído e seu funcionamento foi verificado.

## Referências

AUTOCORE ROBÓTICA. Aprenda a utilizar o acelerômetro MPU6050. [S. l.], 4 de novembro de 2017. Disponível em: <https://autocorerobotica.blog.br/aprenda-a-utilizar-o-acelerometro-mpu6050/>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Módulo Sensor de Cor TCS230 - GY-031. [S. l.]. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-de-cor-tcs230-gy-031.html>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

DEKHNE, A. et al. Automation in logistics: Big opportunity bigger uncertainty. McKinsey, 2019. Acesso em 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/automation-in-logistics-big-opportunity-bigger-uncertainty>.

FERNANDES, Natália. O que é o protocolo MQTT?. [S. l.], 24 mar. 2021. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

KECK, Kevin. 2021. Acesso em 10 de maio de 2022, Disponível em: <https://www.geekwire.com/2021/amazon-details-warehouse-robots-designed-help-humans-work-safely/>.

MECALUX. Robôs móveis, suas aplicações e usos. [S. l.], 23 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/robos-moveis>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

OLIVEIRA, Euler. Como usar com Arduino: Sensor Seguidor de Linha TCRT5000. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-seguidor-de-linha-tcrt5000>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

O QUE É A INTERNET DAS COISAS INDUSTRIAL (IIOT)?. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.hpe.com/br/pt/what-is/industrial-iot.html>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

O QUE é Arduino: Para que serve, vantagens e como utilizar. [S. l.], 10 set. 2020. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>. Acesso em: 22 maio 2022.

O QUE são sensores e quais as suas aplicações?. [S. l.]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

PAULA, Alessandra, 2021. Acesso em 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.logweb.com.br/artigo/cinco-passos-para-modernizacao-da-logistica-no-brasil/>

PORAZZA, Rafael. Robôs móveis: qual sua importância na indústria. [S. l.], 11 de maio de 2018. Disponível em: <https://pollux.com.br/blog/robos-moveis-qual-sua-importancia-na-industria/>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

PROXION, 2020. Acesso em 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.proxion.com.br/transporte-logistica/>.

SENSOR De Obstáculo Infravermelho/ Reflexão LM393. [S. l.]. Disponível em: <https://www.adrobotica.com/produto/sensor-de-obstaculo-infravermelho-reflexao-lm393/>. Acesso em: 24 maio de 2022.

THE Injury Machine: How Amazon's Production System Hurts Workers – The SOC, 2022. Acesso em 10 de maio de 2022. Disponível em: [https://thesoc.org/wp-content/uploads/2022/04/The-Injury-Machine\\_How-Amazons-Production-System-Hurts-Workers.pdf](https://thesoc.org/wp-content/uploads/2022/04/The-Injury-Machine_How-Amazons-Production-System-Hurts-Workers.pdf).

WAREHOUSE Automation Trends in 2021 – Conger, 2021. Acesso em 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.conger.com/warehouse-automation-trends/>.