



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS – IFAM.**

**CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E PRODUÇÃO
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

JONILSON DE OLIVEIRA CAVALCANTE

**ROBÔ AGV EM ESCALA REDUZIDA COM ÊNFASE NO TRANSPORTE
MATERIAIS GUIADO POR LINHA**

MANAUS-AM

2025

JONILSON DE OLIVEIRA CAVALCANTE

**ROBÔ AGV EM ESCALA REDUZIDA COM ÊNFASE NO TRANSPORTE
MATERIAIS GUIADO POR LINHA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao curso de Tecnologia em
Mecatrônica Industrial do Instituto de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas como requisito parcial para
obtenção do Título Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza
Cordeiro.

**MANAUS-AM
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C377r	<p>Cavalcante, Jonilson de Oliveira.</p> <p>Robô AGV em escala reduzida com ênfase no transporte materiais guiados por linha / Jonilson de Oliveira Calvante. — Manaus, 2025. 31 f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025. Orientador: Prof. Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Automação. 2. Controladores. 3. AGV. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 629.892</p>
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).


JONILSON DE OLIVEIRA CAVALCANTE

**ROBÔ AGV EM ESCALA REDUZIDA COM ÊNFASE NO TRANSPORTE
MATERIAIS GUIADO POR LINHA**

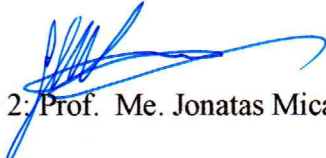
Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao curso de Tecnologia em
Mecatrônica Industrial do Instituto de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas como requisito parcial para
obtenção do Título Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza
Cordeiro.

Aprovado em 29 de abril de 2025.


Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro


Avaliador 1: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro


Avaliador 2: Prof. Me. Jonatas Micael Vieira de Lima.

**MANAUS-AM
2025**

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo incansável esforço e dedicação tornaram possível a conclusão deste curso. É graças ao apoio inabalável deles que hoje estou celebrando este marco significativo em minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, cuja presença e orientação foram fundamentais para alcançar meus objetivos ao longo de todos os anos de estudo. A Ele dedico toda a gratidão pela força, sabedoria e direção concedidas durante esta jornada.

Expresso minha gratidão aos meus amigos e familiares, cujo apoio inabalável e assistência foram pilares essenciais para a realização deste trabalho. Não posso deixar de reconhecer o papel fundamental dos meus professores, cuja dedicação, conhecimento e orientação foram cruciais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

À coordenação do curso, manifesto minha sincera gratidão pelo suporte contínuo e pela administração eficaz que proporcionaram um ambiente propício ao aprendizado e ao desenvolvimento pessoal.

Esta jornada não foi isenta de dificuldades. Houve momentos de desafio e adversidade, em que minha persistência e determinação foram postas à prova. As noites em claro estudando, as horas dedicadas à pesquisa e aos trabalhos acadêmicos foram árduas, mas também essenciais para o meu crescimento e desenvolvimento pessoal.

***"O futuro pertence àqueles que
se preparam hoje com
conhecimento, análise e
propósito."
— Malcolm X (adaptado)***

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento e implementação de um protótipo de robô AGV (Veículo Guiado Automatizado) em escala reduzida voltado para o transporte de matéria-prima em ambientes industriais, com ênfase em automação. O robô foi projetado para seguir trajetórias guiadas por linhas e utilizar sensores para navegação e detecção de obstáculos. O sistema de controle do robô foi desenvolvido utilizando circuitos eletrônicos e programação específica. O objetivo principal é assegurar um transporte preciso e eficiente da matéria-prima, minimizando a necessidade de intervenção manual e reduzindo os riscos operacionais associados à atividade. Os resultados esperados indicam que o desenvolvimento do robô pode levar a uma melhoria significativa na eficiência operacional e na segurança, com uma possível redução na frequência de acidentes e no tempo de inatividade associado ao transporte de materiais. A automação promete benefícios importantes, como a redução da dependência de mão de obra especializada e a criação de novas oportunidades para a otimização de processos industriais. A expectativa é que a operação do robô proporcione um fluxo de trabalho mais seguro e econômico, melhorando a eficiência geral no ambiente industrial.

Palavras-chave: Automação. Controladores. Sistemas Embarcados. AGV.

ABSTRACT

This work describes the development and implementation of a prototype AGV (Automated Guided Vehicle) on a reduced scale, aimed at transporting raw materials in industrial environments, with an emphasis on automation. The robot was designed to follow guided paths marked by lines and use sensors for navigation and obstacle detection. The robot's control system was developed using electronic circuits and specific programming. The main objective is to ensure precise and efficient transportation of raw materials, minimizing the need for manual intervention and reducing operational risks associated with this activity. The expected results indicate that the development of the robot can lead to significant improvements in operational efficiency and safety, with a potential reduction in the frequency of accidents and downtime associated with material transportation. Automation promises important benefits, such as reducing the dependence on specialized labor and creating new opportunities for optimizing industrial processes. The expectation is that the robot's operation will provide a safer and more economical workflow, improving overall efficiency in the industrial environment.

Keywords: Automation. Controllers. Embedded Systems. AGV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Robot AGV jako podstawa linii produkcyjnej	14
Figura 2 - Modulo WiFi ESP32 DevKitC – S1	17
Figura 3 - Sensor de Presença Ultrassônico HC-SR04	18
Figura 4 - Modulo Sensor de Reflexão IR	19
Figura 5 - Modulo Ponte H L298N	19
Figura 6 - Motor DC com caixa redutora para Arduino e Robótica	20
Figura 7 - Conversor de nível lógico 3,3/5V bidirecional - 8 canais (CNL8)	21
Figura 8 - Estrutura da base do AGV	23
Figura 9 - Base do AGV com sensores de linha e ponte H e ESP32	24
Figura 10 - Montagem dos circuitos de alimentação e controle	25
Figura 11 - Montagem do sistema de elevação de carga e sensor de cor	26
Figura 12 - Testes de funcionamento do AGV	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento realizado para construção do AGV	28
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV –	Veículo Guiado Automatizado	8
IoT –	Internet das Coisas	12
IA –	Inteligência Artificial	12
RFID –	Identificação por Rádio Frequência	14
GPS –	Sistema Global de Posicionamento	14
LIDAR –	Detecção e Alcance de Luz	14
PWM –	Pulse Width Modulation	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Contextualização	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo geral	9
1.2.2 Objetivo específico	9
1.3 Justificativa	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 Contexto Histórico da Revolução Industrial	10
2.1.1 Segunda Revolução Industrial	11
2.1.2 Terceira Revolução Industrial	11
2.2 Indústria 4.0	12
2.2.1 Definição e Conceito	12
2.2.2 Impactos na Produção e na Economia	12
3.3 Robótica na Indústria	13
2.3.1 Evolução da Robótica	13
2.3.2 Impacto na Produção	13
2.4 AGV (Veículo Guiado Automaticamente)	14
2.4.1 Definição e Funcionamento	14
2.4.2 Vantagens e Desvantagens	14
2.5 Métodos de Navegação para AGVs	15
2.5.1 Navegação por Linha	15
2.5.2 Navegação por RFID	15
2.5.3 Navegação por GPS	16
2.5.4 Navegação por Laser (LIDAR)	16

2.5.5 Navegação por Câmeras (Visão Computacional)	16
2.6 Microcontrolador ESP32	17
2.6.1 Características e Funcionalidades	17
2.6.2 Aplicações em Projetos de Prototipagem	17
2.7 Sensores Ultrassônicos	18
2.7.1 Funcionamento e Aplicações	18
2.8 Sensores de Linha	18
2.8.1 Funcionamento e Tipos	18
2.9 Ponte H L298N	19
2.9.1 Estrutura e Funcionamento	19
2.10 Motores DC	20
2.10.1 Características e Funcionalidade	20
2.11 Conversores Lógicos	21
2.11.1 Necessidade e Função	21
3. PROPOSTA DO TRABALHO	21
4. METODOLOGIA	22
4.1 Confecção do protótipo	23
4.2 Orçamento	28
CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	32
ANEXO A – Código usado para execução de atividades	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A automação emergiu como um avanço crucial para otimizar a performance das empresas, transformando seus processos em operações mais ágeis e eficientes. No campo da eletrotécnica, isso se traduz na implementação de sistemas de controle elétrico e eletrônico que aprimoram a execução das tarefas. A integração desses sistemas permite que as empresas ajustem a qualidade, reduzam custos e aumentem a capacidade de produção, resultando em melhorias significativas e satisfatórias na eficiência geral da operação. (NETO, 2022)

Entre as inovações emergentes, os AGVs (Automated Guided Vehicles) têm se destacado notavelmente nas indústrias, especialmente nas montadoras. Esses veículos autônomos, equipados com sensores avançados, são capazes de navegar por rotas predefinidas ou se localizar no ambiente com precisão. Eles são amplamente utilizados para o transporte de materiais e objetos, oferecendo uma segurança e precisão superiores em comparação com a operação manual, elevando a eficiência e a segurança no ambiente industrial. (BOAS, 2021)

Esses métodos inteligentes de produção permitiram à indústria automatizar tarefas complexas, trazendo benefícios significativos para os trabalhadores, como aprimoramento da ergonomia e segurança no ambiente. Ao integrar equipamentos automatizados, evita-se que os colaboradores executem tarefas repetitivas, pesadas e desafiadoras, que são eficientemente gerenciadas por sistemas totalmente automatizados, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e ergonômico. (SIMEI, 2023)

Este veículo é conhecido como um robô móvel que pode seguir trilhas marcadas ou cabos no chão, além de empregar sistemas de visão, ímãs ou lasers para navegação. Os AGVs podem ser classificados com base em seu método de navegação, que pode ser fixo ou livre. Os AGVs com navegação fixa precisam seguir sistemas de referência ao longo da rota, geralmente representados por cabos ou fitas instaladas no piso, enquanto os AGVs com navegação livre não requerem tais referências, utilizando em vez disso dados armazenados na memória do veículo.

Os AGVs têm a capacidade de transportar uma ou mais cargas unitárias simultaneamente. Uma carga unitária é um conjunto de itens que pode ser tratado como um único objeto em um armazém ou centro de distribuição, e pode ser representada por paletes ou contêineres. Atualmente, os AGVs são amplamente utilizados em sistemas logísticos em diversos setores industriais e comerciais, e também são encontrados em terminais de transporte de carga, demonstrando ser confiáveis e eficientes ao longo das últimas décadas. (BORTOLOZZO, 2023)

O projeto tem por finalidade desenvolver um protótipo de robô AGV para o transporte de matéria-prima em ambientes industriais. Utilizando automação e eletrotécnica, o AGV seguirá rotas guiadas e empregará sensores para navegação. Com comandos remotos e um sistema de supervisão, o robô ajustará sua velocidade e rota, oferecendo uma solução eficiente, acessível e econômica. O objetivo será melhorar a eficiência e segurança no transporte, reduzindo a intervenção manual e os riscos operacionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo em escala reduzida de robô AGV otimizando o transporte de matéria-prima em ambientes industriais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo em escala reduzida de um robô AGV, definindo suas especificações técnicas e requisitos para transporte de matéria-prima;
- Construir um protótipo em escala reduzida do AGV, incluindo a montagem de componentes físicos, integração de sensores e sistemas de navegação;
- Analisar os resultados dos testes, identificando melhorias necessárias e ajustando o sistema para maximizar a eficiência e segurança operacional;
- Documentar o processo de construção e as etapas do projeto, incluindo desafios encontrados e soluções aplicadas;

1.3 Justificativa

O desenvolvimento de um protótipo de robô AGV (Veículo Guiado Automatizado) em escala reduzida se justifica pela crescente demanda da indústria por soluções inovadoras que promovam a automação, eficiência e segurança nos processos operacionais. Em ambientes industriais, o transporte de matéria-prima é uma atividade essencial, mas que frequentemente apresenta desafios relacionados à precisão, tempo de execução e segurança dos trabalhadores envolvidos.

A implementação de robôs AGVs surge como uma solução promissora para atender a essas necessidades, especialmente em um cenário onde a competitividade exige processos otimizados e a redução de custos operacionais. Esses veículos automatizados não apenas minimizam a intervenção manual, como também reduzem os riscos associados a acidentes de trabalho, oferecendo um ambiente mais seguro para os colaboradores.

Além disso, a adoção de tecnologias baseadas em automação contribui para a modernização dos processos industriais, permitindo a integração de sistemas inteligentes que elevam a produtividade. O presente trabalho, ao propor um protótipo em escala reduzida, serve como um modelo prático para experimentação, aprendizado e possível adaptação para aplicações em larga escala, fomentando o avanço tecnológico e o treinamento de profissionais capacitados na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto Histórico da Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XVIII na Inglaterra, foi marcada pela introdução de inovações tecnológicas cruciais, como a máquina a vapor desenvolvida por James Watt, e o tear mecânico, que transformaram a produção têxtil.

Essas invenções não apenas aumentaram a eficiência na manufatura, mas também possibilitaram a criação de uma infraestrutura industrial robusta.

Impactos Econômicos e Sociais: Esse período provocou uma urbanização sem precedentes, com a migração em massa de trabalhadores rurais para as cidades industriais, onde surgiram as fábricas. O capitalismo industrial se consolidou com a formação de uma nova classe operária e a transformação das estruturas sociais tradicionais. O aumento da produção levou a uma expansão significativa do mercado e à formação de novas relações de trabalho.

2.1.1 Segunda Revolução Industrial

No final do século XIX e início do século XX, a Segunda Revolução Industrial trouxe avanços significativos como a eletricidade, que possibilitou a iluminação e a operação de maquinários mais eficientes. A produção em massa de aço e inovações químicas, como a invenção de novos materiais plásticos, revolucionaram diversos setores industriais, desde a construção até a fabricação de bens de consumo.

O desenvolvimento das ferrovias e a comunicação telegráfica expandiram as redes de transporte e comunicação, facilitando o comércio global e a integração econômica. Esse período também viu o crescimento dos grandes conglomerados empresariais e a intensificação das desigualdades sociais, além de uma maior regulamentação das condições de trabalho e a formação de sindicatos.

2.1.2 Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial, iniciada no final do século XX, é caracterizada pelo avanço das tecnologias da informação e da comunicação. A introdução dos computadores pessoais, a automação industrial e a digitalização dos processos produtivos transformaram a forma como as empresas operam e gerenciam suas atividades. Tecnologias como o microprocessador e a internet desempenharam um papel crucial na mudança da economia global.

Mudanças no Ambiente de Trabalho e na Economia: A digitalização levou a uma transformação significativa nas práticas de trabalho, com a automação de tarefas repetitivas e o surgimento do trabalho remoto. O aumento da conectividade global e o crescimento do comércio eletrônico também remodelaram a economia,

promovendo uma maior integração entre mercados internacionais e novos modelos de negócios baseados em dados e serviços digitais.

2.2 Indústria 4.0

2.2.1 Definição e Conceito

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, é caracterizada pela fusão dos mundos digital e físico através da integração de tecnologias avançadas como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e sistemas ciberfísicos.

Essas tecnologias permitem uma maior automação e controle dos processos de produção, proporcionando uma produção mais inteligente e adaptativa.

A IoT permite a conexão e comunicação entre dispositivos e sistemas, possibilitando uma coleta e análise de dados em tempo real. O Big Data possibilita a análise de grandes volumes de dados para tomar decisões informadas e prever tendências. A IA contribui para a automação e otimização dos processos, enquanto os sistemas ciberfísicos integram hardware e software para melhorar a eficiência e a flexibilidade da produção.

2.2.2 Impactos na Produção e na Economia

A Indústria 4.0 tem levado a um aumento significativo na produtividade através da automação de processos repetitivos e complexos, que anteriormente exigiam intervenção humana. As tecnologias de monitoramento em tempo real e análise de dados permitem ajustes dinâmicos na produção, otimizando os recursos e reduzindo o desperdício.

Desafios e Oportunidades: Embora a Indústria 4.0 ofereça grandes oportunidades, como a criação de novos modelos de negócios e a melhoria na qualidade dos produtos, também apresenta desafios significativos. Estes incluem questões de segurança cibernética, a necessidade de novas habilidades para a força de trabalho, e a necessidade de investimentos elevados em tecnologia e

infraestrutura. A adaptação a essas mudanças requer uma estratégia bem definida para gerenciar a transição e maximizar os benefícios.

2.3 Robótica na Indústria

2.3.1 Evolução da Robótica

Desde o surgimento dos primeiros robôs industriais na década de 1960, que eram usados principalmente para tarefas de soldagem e montagem, até os robôs avançados utilizados hoje em dia, a robótica industrial evoluiu significativamente. Os primeiros robôs eram programados para realizar tarefas repetitivas e de alta precisão, enquanto os robôs modernos são mais flexíveis e capazes de realizar uma variedade maior de funções.

Com o avanço da tecnologia, os robôs industriais modernos incorporam inteligência artificial e sistemas de visão computacional, permitindo-lhes trabalhar de forma colaborativa com os humanos e adaptar-se a diferentes condições e tarefas. Robôs colaborativos (cobots) são projetados para operar ao lado dos trabalhadores, aumentando a eficiência e reduzindo o risco de acidentes.

2.3.2 Impacto na Produção

A implementação de robôs industriais tem contribuído para a melhoria da qualidade dos produtos e a segurança dos trabalhadores. Robôs podem realizar tarefas com uma precisão e consistência que minimizam erros e defeitos, enquanto também reduzem a exposição dos trabalhadores a ambientes perigosos ou insalubres. A automação proporcionada pelos robôs industriais permite um aumento na eficiência da produção e uma redução nos custos operacionais. A capacidade de operar continuamente sem a necessidade de pausas ou interrupções aumenta a capacidade produtiva e reduz os custos relacionados ao trabalho humano.

2.4 AGV (Veículo Guiado Automaticamente)

2.4.1 Definição e Funcionamento

Os AGVs são veículos robóticos projetados para o transporte automático de materiais dentro de uma instalação industrial. Eles utilizam diferentes sistemas de orientação, como linhas magnéticas ou ópticas, para navegar e realizar tarefas logísticas de forma eficiente. Os AGVs são amplamente utilizados em ambientes de manufatura e armazéns para melhorar a eficiência do transporte de materiais e componentes. Os AGVs podem ser equipados com vários métodos de navegação, incluindo seguimento de linha, RFID (Identificação por Rádio Frequência), GPS (Sistema Global de Posicionamento), LIDAR (Detecção e Alcance de Luz), e visão computacional. Cada método tem suas próprias vantagens e limitações, e a escolha do método depende das necessidades específicas do ambiente e dos requisitos operacionais.

Figura 1-Robot AGV jako podstawa linii produkcyjnej.



Fonte: WOBIT, 2024.

2.4.2 Vantagens e Desvantagens

A utilização de AGVs oferece vários benefícios, como a redução de erros humanos, a melhoria da segurança no transporte de materiais e a otimização dos

processos logísticos. A automação proporcionada pelos AGVs permite uma operação mais eficiente e menos propensa a falhas, além de permitir a liberação dos funcionários para outras tarefas mais complexas.

Apesar dos benefícios, a implementação de AGVs pode enfrentar desafios como a necessidade de infraestrutura específica para os métodos de navegação, custos iniciais elevados e manutenção contínua. Além disso, a adaptação dos processos de trabalho e a integração com sistemas existentes podem exigir ajustes significativos.

2.5 Métodos de Navegação para AGVs

2.5.1 Navegação por Linha

O método de navegação por linha utiliza sensores infravermelhos para detectar e seguir uma linha marcada no chão. Este método é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e baixo custo, sendo ideal para ambientes controlados onde as linhas podem ser facilmente marcadas e mantidas.

A principal vantagem é a facilidade de instalação e manutenção, com um sistema direto que requer menos processamento computacional. No entanto, pode ser menos eficaz em ambientes onde as linhas podem ser alteradas ou obstruídas.

2.5.2 Navegação por RFID

O método de navegação por RFID utiliza tags RFID colocadas em pontos específicos ao longo do percurso. O AGV usa um leitor para identificar e seguir essas tags, proporcionando alta precisão e flexibilidade na definição de rotas. Este método é útil para ambientes complexos e dinâmicos, onde as rotas podem ser alteradas conforme necessário.

Vantagens e Desvantagens: A alta precisão e flexibilidade são as principais vantagens, mas o custo de instalação e manutenção das tags RFID pode ser elevado.

2.5.3 Navegação por GPS

A navegação por GPS é utilizada principalmente em ambientes externos e grandes áreas, como pátios e armazéns ao ar livre. O sistema usa sinais de satélites para determinar a localização e a rota do AGV.

Vantagens e Desvantagens: Oferece boa precisão em áreas abertas, mas pode ser menos eficaz em ambientes internos ou áreas com obstruções que bloqueiam o sinal GPS.

2.5.4 Navegação por Laser (LIDAR)

O método de navegação por LIDAR utiliza sensores a laser para criar um mapa tridimensional do ambiente e detectar obstáculos. Este sistema permite uma navegação altamente precisa e a capacidade de evitar obstáculos de forma dinâmica.

Vantagens e Desvantagens: A alta precisão e flexibilidade são grandes vantagens, mas o custo elevado e a complexidade dos sistemas LIDAR podem ser desvantagens significativas.

2.5.5 Navegação por Câmeras (Visão Computacional)

Tecnologia e Desafios: A navegação por câmeras utiliza algoritmos de visão computacional para reconhecer e seguir marcas visuais no ambiente. Este método oferece alta adaptabilidade e a capacidade de detectar e evitar obstáculos com base em imagens.

Vantagens e Desvantagens: A flexibilidade e a capacidade de adaptação são vantagens, mas o processamento avançado necessário e a dependência de condições de iluminação podem representar desafios.

2.6 Microcontrolador ESP32

2.6.1 Características e Funcionalidades

O ESP32 é um microcontrolador de 32 bits com capacidades avançadas, incluindo conectividade Wi-Fi e Bluetooth. Possui 34 portas de entrada/saída digitais, suporte a diversas interfaces de comunicação como SPI, I2C e UART, e é capaz de lidar com tarefas complexas de processamento e comunicação.

Versatilidade e Programação: A ampla documentação e o suporte a diversas bibliotecas e IDEs open source tornam o ESP32 uma escolha popular para projetos de prototipagem e desenvolvimento de sistemas embarcados. Sua capacidade de conectar e controlar dispositivos de forma eficiente o torna ideal para projetos que exigem conectividade e controle avançado.

Figura 2-Modulo WiFi ESP32 DevKitC-S1.



Fonte: ELETROGATE, 2024.

2.6.2 Aplicações em Projetos de Prototipagem

Uso em AGVs: O ESP32 é frequentemente utilizado em projetos de prototipagem de AGVs devido à sua capacidade de processamento e conectividade. Ele pode ser integrado com sensores, motores e outros componentes para desenvolver sistemas de controle e navegação para AGVs. Sua flexibilidade permite a implementação de diversas funcionalidades e a adaptação a diferentes requisitos do projeto.

2.7 Sensores Ultrassônicos

2.7.1 Funcionamento e Aplicações

Sensores ultrassônicos, como o HC-SR04, utilizam ondas sonoras para medir distâncias com precisão. O sensor emite um pulso ultrassônico e calcula a distância com base no tempo que o pulso leva para retornar. Este método é eficaz para detectar obstáculos e medir a distância de objetos ao redor do AGV.

Vantagens e Desvantagens: Os sensores ultrassônicos oferecem uma medição precisa a um custo acessível. No entanto, podem ser menos eficazes em ambientes com muito ruído acústico ou superfícies altamente refletivas que podem interferir na leitura.

Figura 3-Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04.



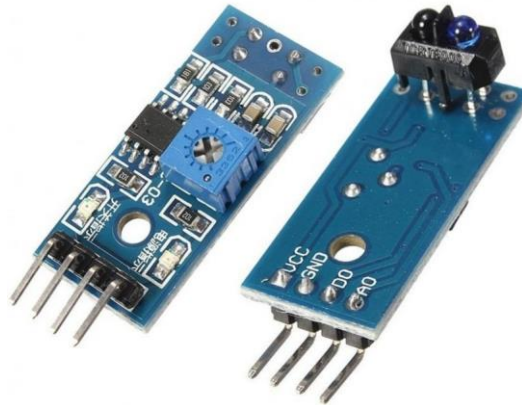
Fonte: AUTOCORER ROBÓTICA, 2024.

2.8 Sensores de Linha

2.8.1 Funcionamento e Tipos

Sensores infravermelhos reflexivos, como o TCRT5000, são utilizados para detectar diferenças de cor e seguir linhas marcadas no chão. Eles emitem luz infravermelha e medem a quantidade de luz refletida de volta para determinar a presença de linhas e ajustar a trajetória do AGV.

Figura 4-Módulo Sensor de Reflexão IR.



Fonte: HU INFINITO, 2024.

Vantagens e Desvantagens: A simplicidade e o baixo custo são vantagens dos sensores de linha, mas eles podem ter limitações em ambientes com variações de iluminação ou superfícies que não contrastam bem com as linhas.

2.9 Ponte H L298N

2.9.1 Estrutura e Funcionamento

Figura 5-Módulo Ponte H L298N.



Fonte: ELETROLÂNDIA ES, 2024.

O módulo L298N é uma ponte H que permite o controle bidirecional de motores DC. Ele pode controlar a direção e a velocidade dos motores, possibilitando a movimentação do AGV para frente, para trás e a realização de curvas. O módulo é capaz de lidar com correntes elevadas e fornecer a tensão necessária para motores de diferentes especificações.

Vantagens e Desafios: A robustez e a capacidade de controlar motores com diferentes especificações são vantagens significativas do L298N. No entanto, é necessário garantir uma configuração adequada para evitar sobrecarga e garantir o desempenho eficiente.

2.10 Motores DC

2.10.1 Características e Funcionalidade

Figura 6-Motor DC com caixa redutora para Arduino e robótica.



Fonte: TP3D, 2024.

Motorização e Controle de Movimento: Motores DC são amplamente utilizados em AGVs devido à sua capacidade de fornecer torque e controle de velocidade eficientes. Motores com caixas de redução são comuns em AGVs para aumentar o torque e melhorar a eficiência da movimentação.

Integração com o Sistema: A integração dos motores DC com o módulo L298N permite o controle preciso da direção e da velocidade, proporcionando uma movimentação estável e eficiente do AGV. É importante garantir que os motores estejam bem ajustados para atender às especificações do projeto.

2.11 Conversores Lógicos

2.11.1 Necessidade e Função

Figura 7-Conversor de nível lógico 3,3/5V bidirecional - 8 canais (CNL8)



Fonte: ELETROGATE, 2024.

Conversores lógicos são utilizados para adaptar os níveis de sinal entre sensores e o microcontrolador, como o ESP32. Eles garantem que os sinais digitais e analógicos sejam compatíveis e evitam danos ao microcontrolador devido a diferenças de tensão ou corrente.

Os conversores lógicos de 4 e 8 canais permitem a conexão de múltiplos sensores e entradas ao sistema, garantindo que todos os sinais sejam corretamente interpretados e processados pelo microcontrolador. Isso é essencial para a integração de diversos componentes em projetos complexos.

3 PROPOSTA DO TRABALHO

Este trabalho tem como proposta o desenvolvimento e implementação de um protótipo de robô AGV (Veículo Guiado Automatizado) em escala reduzida, voltado para a aplicação em processos industriais. O objetivo principal é criar uma solução tecnológica que demonstre como o uso de robôs pode transformar o transporte de matéria-prima, tornando-o mais seguro, eficiente e automatizado.

A proposta se baseia no desafio de integrar tecnologias acessíveis e eficientes, como sensores de linha e sistemas de controle programados, em um

protótipo capaz de navegar autonomamente em trajetos predeterminados. Dessa forma, o robô servirá como modelo para explorar melhorias no fluxo de trabalho industrial, reduzindo erros humanos, acidentes e custos operacionais.

Além disso, o trabalho busca apresentar alternativas inovadoras para enfrentar os desafios da modernização da indústria, incentivando a adoção de sistemas automatizados. O protótipo será uma ferramenta prática para validar conceitos de automação e testar soluções que podem ser escaladas para o ambiente industrial real.

4 METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma revisão detalhada da literatura para entender os conceitos e tecnologias aplicáveis aos AGVs, incluindo suas técnicas de navegação e componentes necessários. Em seguida, foram definidos os requisitos técnicos e especificações do protótipo em escala reduzida, abordando aspectos como capacidade de carga, tipo de navegação e sistemas de controle.

Posteriormente, foi realizada a aquisição dos componentes. A etapa de construção envolveu a montagem física do AGV em escala reduzida, a integração dos sistemas de controle e sensores, e a programação dos algoritmos de navegação. Com o protótipo montado, foram realizados testes para avaliar sua performance em termos de precisão, capacidade de carga e eficiência. Baseado nos resultados dos testes, ajustes e otimizações foram implementados para aprimorar o desempenho do protótipo.

Por fim, foi preparada a documentação completa, que incluiu uma descrição detalhada do projeto, resultados dos testes e uma análise dos desafios encontrados e das soluções aplicadas, garantindo uma abordagem metódica e eficaz no desenvolvimento do AGV em escala reduzida.

4.1 Confecção do protótipo.

A etapa de construção física do protótipo do robô AGV em escala reduzida começou com a construção de uma estrutura metálica de aço galvanizado, cortado

manualmente. Esta estrutura forneceu uma base sólida e estável, permitindo uma disposição organizada e segura dos componentes do robô conforme pode ser visto na Figura 9.

Figura 8- Estrutura da base do AGV.



Fonte: AUTOR, 2024.

O robô foi projetado para ter oito rodas, cada uma equipada com uma caixa de redução plástica e um motor dedicado, para melhorar a estabilidade e aumentar a capacidade de carga. Cada motor é controlado por uma das quatro pontes H L298N, com cada ponte responsável por dois motores. A escolha de quatro pontes H se deve à necessidade de controlar todos os oito motores individualmente, proporcionando potência e controle eficazes.

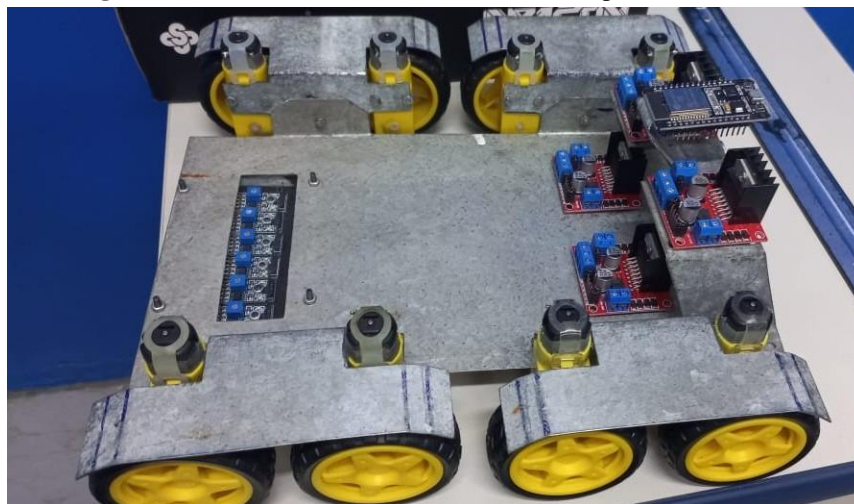
Seis sensores de linha foram selecionados para o sistema de navegação, aumentando a precisão no deslocamento e melhorando a resposta das pontes H ao uso de PWM (Modulação por Largura de Pulso).

A disposição dos sensores permite monitorar a trajetória com maior exatidão e ajustar rapidamente o controle dos motores, garantindo uma navegação precisa e eficiente. A montagem final envolveu a instalação dos motores, sensores e pontes H na estrutura metálica, seguida pela programação do ESP32 para coordenar todas as operações do robô conforme se pode observar na Figura 10.

Na etapa de controle do protótipo do robô AGV em escala reduzida, o ESP32 gerencia as pontes H L298N através dos pinos D22, D23, D32 e D33. Cada um

desses pinos é responsável por enviar sinais PWM (Pulse Width Modulation) para controlar a velocidade e a direção dos motores. O ajuste do PWM varia de 0 a 90%, permitindo um controle preciso da potência aplicada aos motores.

Figura 9- Base do AGV com sensores de linha e ponte H e ESP32.



Fonte: AUTOR, 2024.

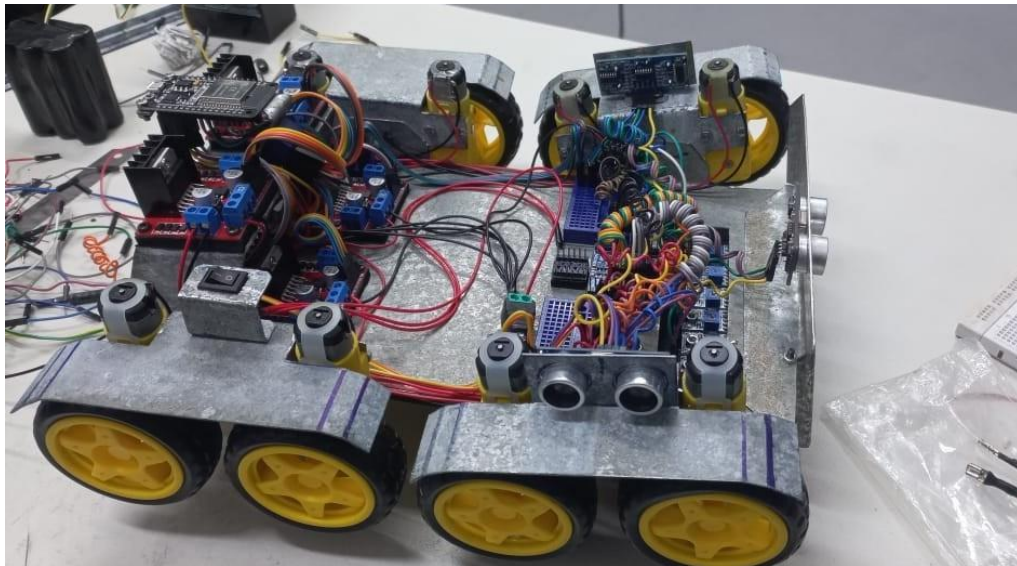
O sistema de controle é projetado para adaptar o percentual do PWM com base nas respostas dos sensores de linha. Quando um sensor de linha detecta uma variação ou desvio da trajetória, o ESP32 ajusta o sinal PWM correspondente para compensar. Esses ajustes podem ser feitos individualmente para cada motor, em pares, ou de forma conjugada para todos os motores, dependendo das necessidades de correção da trajetória. Esse método permite uma navegação precisa e dinâmica do robô, garantindo que ele siga o caminho desejado com eficiência e estabilidade.

Na etapa seguinte, foi realizada a construção dos circuitos de alimentação e controle, incluindo a integração dos sensores de linha ultrassônicos com o ESP32. Como o protótipo utiliza sensores projetados para o Arduino, houve a necessidade de empregar dois conversores lógicos.

Os sensores de linha ultrassônicos, que operam com níveis de tensão específicos, foram projetados para funcionar com a lógica de 5V típica dos sistemas Arduino. No entanto, o ESP32 opera com uma lógica de 3.3V. Direto, a conexão dos

sensores de 5V ao ESP32 pode resultar em leituras incorretas ou até danificar o microcontrolador, devido à diferença nos níveis de tensão.

Figura 10- Montagem dos circuitos de alimentação e controle.



Fonte: AUTOR, 2024.

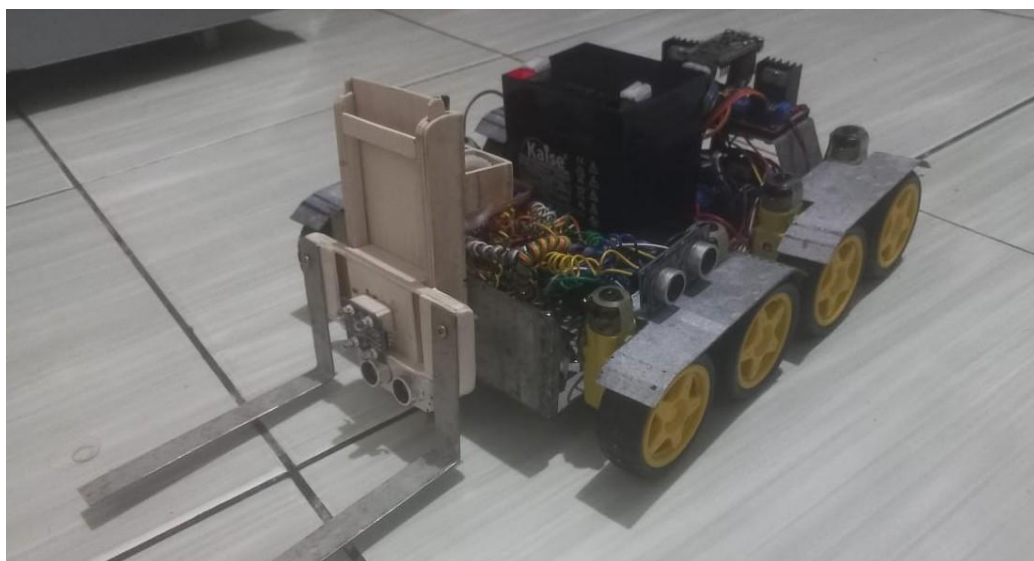
Portanto, os conversores lógicos foram utilizados para adaptar os sinais entre os sensores de linha e o ESP32. Esses conversores permitem que os sinais de 5V gerados pelos sensores sejam corretamente convertidos para a lógica de 3.3V do ESP32, assegurando a compatibilidade entre os componentes e a integridade dos sinais. Sem essa adaptação, o ESP32 não conseguiria interpretar corretamente os dados dos sensores, comprometendo a precisão da navegação e o funcionamento geral do robô.

Na etapa de construção do circuito, foram dispostos quatro sensores ultrassônicos no robô AGV em escala reduzida para proporcionar uma visão de 360 graus ao redor do robô. Esses sensores foram posicionados estrategicamente em diferentes pontos ao longo do robô para garantir a cobertura completa do ambiente ao seu redor.

A disposição dos quatro sensores ultrassônicos permite ao robô capturar dados sobre obstáculos e distâncias em todas as direções. Com essa configuração, o robô pode realizar uma análise contínua do ambiente, detectando obstáculos em

qualquer direção e ajustando sua trajetória conforme necessário. A informação coletada pelos sensores é crucial para a tomada de decisões, pois permite que o robô evite colisões e navegue com segurança em ambientes complexos.

Figura 11- Montagem do sistema de elevação de carga e sensor de cor.



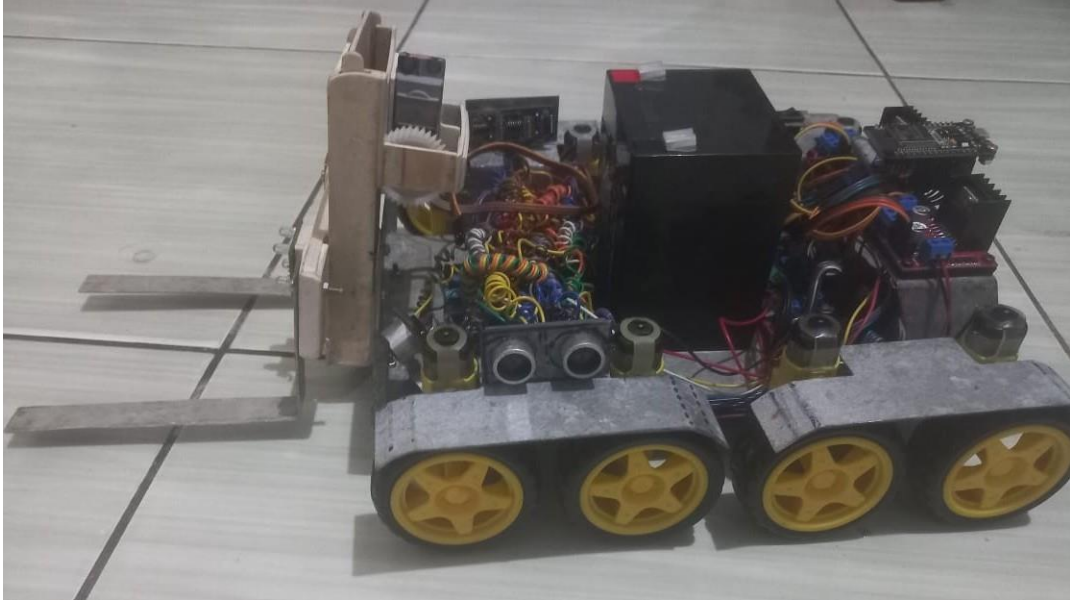
Fonte: AUTOR, 2024.

Os dados dos sensores ultrassônicos são processados pelo ESP32, que utiliza essas informações para ajustar os comandos de controle dos motores e otimizar o movimento do robô. Essa capacidade de percepção abrangente é essencial para a operação eficiente e segura do robô AGV, melhorando sua autonomia e capacidade de adaptação a diferentes condições do ambiente.

No projeto do AGV foi inserido um sensor de cores TCS34725 e um servo motor para melhorar a funcionalidade de elevação de carga. O sensor de cores tem a função de identificar a cor dos objetos que serão manipulados, permitindo ao AGV reconhecer diferentes itens com base em suas cores.

A comunicação entre o sensor e o ESP32 é feita via protocolo I2C, utilizando os pinos SCL (22) e SDA (21) do ESP32 para coletar as informações sobre a cor dos objetos. Além disso, o servo motor, conectado ao pino 5 do ESP32, foi integrado ao sistema para ser o responsável pela elevação da carga. Esse servo motor movimenta o mecanismo de levantamento, permitindo que o AGV consiga elevar e transportar objetos conforme os dados recebidos do sensor de cores.

Figura 12- Testes de funcionamento do AGV.



Fonte: AUTOR, 2024.

Dessa forma, o AGV pode identificar objetos com base em sua cor e, em seguida, manipular esses objetos de maneira eficiente, elevando-os quando necessário para a movimentação.

Durante o desenvolvimento do AGV, foram realizados testes nos sensores ultrassônicos para verificar a precisão na detecção de obstáculos e nas medições de distância, garantindo uma navegação autônoma eficiente.

Os sensores de linha também foram testados para assegurar que o AGV seguisse corretamente a linha traçada. Além disso, o desempenho da bateria foi monitorado, verificando a autonomia do AGV em diferentes condições de operação, garantindo que o sistema tivesse tempo suficiente para completar suas tarefas sem falhas. Esses testes foram fundamentais para garantir a eficiência e a confiabilidade do AGV.

4.2 Orçamento

Conforme pode ser visto na tabela 1, foi realizado um orçamento referente à construção do protótipo do AGV, resultando em um valor total de R\$ 892,90.

Tabela 1: Orçamento realizado para construção do AGV

Orçamento			
Item	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Placa ESP32 WROOM-32 WiFi - Driver CH9102X - 30 Pinos	1	R\$ 62,00	R\$ 62,00
Conversor de Nível Lógico CNL8 3,3-5V Bidirecional 8 Canais	1	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Conversor de Nível Lógico 3,3- 5V Bidirecional 4 Canais	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Conjunto Motor DC 3-6V com Caixa de Redução + Roda para Chassi Carrinho	8	R\$ 24,00	R\$ 192,00
Driver Motor Ponte H L298N	4	R\$ 26,50	R\$ 106,00
Bateria 12V, 6A	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Sensor Ultrassônico HC-SR04	4	R\$ 13,80	R\$ 55,20
Servo Motor TowerPro MG995	1	R\$ 56,00	R\$ 56,00
Sensor de Linha Segue Faixa Infravermelho IR TCRT5000 LM393	6	R\$ 12,00	R\$ 72,00
Mini Protoboard 170 Furos	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
Mini Protoboard Lego 25 Furos	2	R\$ 3,00	R\$ 6,00
Kit Cabo Jumper Fêmea-Fêmea 40 Unidades 20cm	2	R\$ 14,50	R\$ 29,00
Kit Cabo Jumper Macho-Fêmea 40 Unidades 20cm	2	R\$ 14,50	R\$ 29,00

Fonte Chaveada Carregador Plug P4 - 12V 3A	1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
Fonte Ajustável Step Down Regulador de Tensão LM2596	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Cabo Jumper Flat Colorido 40 Vias Passo 28AWG (Metro)	2	R\$ 13,80	R\$ 27,60
Conector Adaptador Plug P4 Fêmea com Borne	1	R\$ 3,80	R\$ 3,80
Parafuso M3 com porca	40	R\$ 0,50	R\$ 20,00
Módulo Sensor de Reconhecimento de Cores TCS3200 / TCS230	1	R\$ 55,30	R\$ 55,30
Total			R\$ 892,90

Fonte: AUTOR, 2024

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de um protótipo funcional de robô AGV (Veículo Guiado Automatizado) em escala reduzida, voltado para o transporte autônomo de materiais em ambientes industriais. Através deste projeto, buscou-se explorar os potenciais benefícios da automação e da eletrotécnica, aplicando conceitos teóricos e práticos para resolver desafios associados ao transporte logístico, segurança operacional e eficiência energética.

Desde as etapas iniciais de revisão bibliográfica e definição de requisitos até a montagem e testes do protótipo, o projeto destacou-se pela integração de tecnologias como o microcontrolador ESP32, sensores de linha e ultrassônicos, motores DC com controle por PWM, e o uso de pontes H para a movimentação precisa e estável do robô. A adição de funcionalidades complementares, como o sensor de cores e o mecanismo de elevação de carga, enriqueceu ainda mais a proposta, demonstrando a flexibilidade do sistema em atender a diversas demandas operacionais.

Os testes realizados comprovaram a capacidade do protótipo em seguir rotas definidas com precisão, adaptar-se dinamicamente a variações do ambiente e evitar obstáculos, garantindo assim maior segurança e eficiência no transporte de materiais. Além disso, o sistema mostrou-se eficaz em reduzir a necessidade de intervenção humana, apresentando uma solução robusta e promissora para ambientes industriais. A capacidade de identificação de cores e manipulação de cargas reforça a aplicabilidade do protótipo em cenários que exigem operações específicas e personalizadas.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas durante a execução do projeto. Entre elas, destacam-se a necessidade de melhorias na calibração dos sensores para ambientes com iluminação variável e o aprimoramento da eficiência energética do sistema, visando aumentar a autonomia do robô em situações reais de trabalho. Estes pontos representam oportunidades de evolução para futuras versões do protótipo, permitindo ampliar ainda mais sua aplicabilidade e confiabilidade.

Além dos avanços tecnológicos proporcionados, este trabalho permitiu uma profunda imersão nos princípios da automação e na integração de sistemas eletromecânicos. A experiência adquirida na resolução de problemas práticos, como a compatibilidade entre componentes e a programação do sistema de controle, contribuiu significativamente para o crescimento acadêmico e profissional dos envolvidos.

Por fim, o protótipo desenvolvido ilustra de forma concreta os benefícios da automação aplicada ao setor industrial, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0. Este projeto não apenas reafirma o potencial da tecnologia para otimizar processos e reduzir custos, mas também promove um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. Espera-se que os conhecimentos e resultados aqui obtidos possam servir como base para futuros projetos e inspirem inovações na área de robótica e automação.

REFERENCIAIS

AUTOCORER ROBÓTICA. **Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>>. Acesso em: 16 jan. 2025.

BOAS, I. L. V. **Construção de um Protótipo de AGV**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica – Universidade do Estado do Amazonas (UEA), 2020. Disponível em: <<http://177.66.14.82/bitstream/riuea/4561/1/Constru%20c3%a7%20a3o%20de%20um%20prot%20c3%b3tipo%20de%20AGV.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BORTOLOZZO, M. D. **Implantação de sistema AGV para coleta e transporte de material: estudo de caso em uma indústria de não-tecidos**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/26459/1/2023_1_MATHEUS_DUTRA_BORTOLOZZO_TCC.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ELETROLÂNDIA ES. **Módulo Ponte H L298N**. Disponível em: <https://www.eletrolandiaes.com.br/modulo-ponte-h-l298n-1843010-0020>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ELETROGATE. **Modulo WiFi ESP32 DevKitC-S1**. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-wifi-esp32-devkitc-s1>. Acesso em: 06 jan. 2025.

HU INFINITO. **Módulo Sensor de Reflexão IR**. Disponível em: <https://www.huinfinito.com.br/sensores/781-modulo-sensor-de-reflecao-ir-seguidor-linha.html>. Acesso em: 02 jan. 2025.

NETO, J. A. F. **Automação Industrial por Veículos Guiados Automaticamente**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Controle e Automação – Faculdade Anhanguera de Betim. Betim, 2022. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/posts/jos%C3%A9-xavier-100981124_vista-explodida-motor-el%C3%A9trico-largamente-activity-7030196513276346368-_J27?trk=public_profile_like_view>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SIMEI, L. C. et al. **Implantação de um AGV em uma Indústria Automobilística: um estudo de caso**. Revista Inovae, São Paulo, v. 11, p. 670-697, jan.-dez. 2023. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/2846/1813>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

TP3D. **Motor DC com caixa redutora para Arduino e robótica**. Disponível em: <https://tp3d.com.ar/robotica-y-arduino/69-motor-dc-con-caja-reductora-arduino-robotica.html>. Acesso em: 10 jan. 2025.

WOBIT. **Robot AGV jako podstawa linii produkcyjnej**. Disponível em: <https://wobit.com.pl/en/artykul/4635/publikacje/robot-agv-jako-podstawa-linii-produkcyjnej/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ANEXO A – Código usado para execução de atividades

```
#include <Adafruit_TCS34725.h> // Biblioteca para o sensor de cores
#include <Servo.h> // Biblioteca para controle do servo motor

// Instância do sensor de cores
Adafruit_TCS34725 tcs =
Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_700MS,
TCS34725_GAIN_1X);

// Instância do servo motor
Servo servoMotor;

// Definição dos pinos
#define SENSOR_DIREITA_1 21
#define SENSOR_DIREITA_2 19
#define SENSOR_CENTRO_DIREITA 18
#define SENSOR_CENTRO_ESQUERDA 25
#define SENSOR_ESQUERDA_2 26
#define SENSOR_ESQUERDA_1 27

#define PINO_PWM_22 22
#define PINO_PWM_32 32
#define PINO_PWM_23 23
#define PINO_PWM_33 33
#define PINO_SERVO 5 // Pino para o servo motor

void setup() {
  // Configuração dos pinos dos sensores como entrada
  pinMode(SENSOR_DIREITA_1, INPUT);
  pinMode(SENSOR_DIREITA_2, INPUT);
  pinMode(SENSOR_CENTRO_DIREITA, INPUT);
  pinMode(SENSOR_CENTRO_ESQUERDA, INPUT);
  pinMode(SENSOR_ESQUERDA_2, INPUT);
  pinMode(SENSOR_ESQUERDA_1, INPUT);

  // Configuração dos pinos de controle dos motores como saída
  pinMode(PINO_PWM_22, OUTPUT);
  pinMode(PINO_PWM_32, OUTPUT);
  pinMode(PINO_PWM_23, OUTPUT);
  pinMode(PINO_PWM_33, OUTPUT);

  // Configuração do servo motor
  servoMotor.attach(PINO_SERVO);
  servoMotor.write(90); // Posiciona o servo em 90 graus
}
```

```

// Inicialização do sensor de cores
if (!tcs.begin()) {
  Serial.println("Sensor de cores não detectado. Verifique a conexão.");
  while (1);
}

Serial.begin(9600);
Serial.println("Iniciando...");
}

void loop() {
  // Leitura do sensor de cores
  uint16_t r, g, b, c;
  tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);

  // Calcula o valor aproximado de cor
  uint16_t maxColor = max(max(r, g), b);
  String corDetectada;

  if (maxColor == r) {
    corDetectada = "Vermelho";
  } else if (maxColor == g) {
    corDetectada = "Verde";
  } else if (maxColor == b) {
    corDetectada = "Azul";
  } else {
    corDetectada = "Indefinido";
  }

  // Exibe a cor detectada no monitor serial
  Serial.print("Cor detectada: ");
  Serial.println(corDetectada);

  // Controle do servo com base na cor detectada
  if (corDetectada == "Vermelho") {
    servoMotor.write(0); // Move para 0 graus
  } else if (corDetectada == "Verde") {
    servoMotor.write(90); // Move para 90 graus
  } else if (corDetectada == "Azul") {
    servoMotor.write(180); // Move para 180 graus
  }

  // Leitura dos sensores de linha e controle dos motores
  int sensor_direita_1 = digitalRead(SENSOR_DIREITA_1);
  int sensor_direita_2 = digitalRead(SENSOR_DIREITA_2);
  int sensor_centro_direita = digitalRead(SENSOR_CENTRO_DIREITA);
  int sensor_centro_esquerda = digitalRead(SENSOR_CENTRO_ESQUERDA);
  int sensor_esquerda_2 = digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_2);

```

```

int sensor_esquerda_1 = digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_1);

if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == HIGH && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 65);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
}
// Lógica de controle baseada nos estados dos sensores
if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == HIGH && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 65);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == HIGH &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 65);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == HIGH && sensor_centro_esquerda == HIGH &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == HIGH &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 50);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == HIGH &&
sensor_centro_direita == HIGH && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 60);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == HIGH && sensor_direita_2 == HIGH &&
sensor_centro_direita == HIGH && sensor_centro_esquerda == LOW &&

```

```

sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 50);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == HIGH && sensor_direita_2 == HIGH &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 40);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == HIGH && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 50);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 90);;
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == HIGH &&
sensor_esquerda_2 == HIGH && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 60);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == HIGH &&
sensor_esquerda_2 == HIGH && sensor_esquerda_1 == HIGH) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 65);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == HIGH && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 60);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == HIGH && sensor_esquerda_1 == HIGH) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 50);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&

```

```

sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == HIGH) {
    analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 85);
} else if (sensor_direita_1 == LOW && sensor_direita_2 == LOW &&
sensor_centro_direita == LOW && sensor_centro_esquerda == LOW &&
sensor_esquerda_2 == LOW && sensor_esquerda_1 == LOW) {
    while (digitalRead(SENSOR_DIREITA_1) == LOW &&
        digitalRead(SENSOR_DIREITA_2) == LOW &&
        digitalRead(SENSOR_CENTRO_DIREITA) == LOW &&
        digitalRead(SENSOR_CENTRO_ESQUERDA) == LOW &&
        digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_2) == LOW &&
        digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_1) == LOW) {
        analogWrite(PINO_PWM_22, 90);
        analogWrite(PINO_PWM_32, 0);
        analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
        analogWrite(PINO_PWM_33, 85);

        if (digitalRead(SENSOR_DIREITA_1) == LOW &&
            digitalRead(SENSOR_DIREITA_2) == LOW &&
            digitalRead(SENSOR_CENTRO_DIREITA) == LOW &&
            digitalRead(SENSOR_CENTRO_ESQUERDA) == LOW &&
            digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_2) == LOW &&
            digitalRead(SENSOR_ESQUERDA_1) == HIGH) {
            break; // Sai do laço quando a condição de parada é atendida
        }
    }
}

else {
    // Se nenhuma condição for atendida, desliga os motores
    analogWrite(PINO_PWM_22, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_32, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_23, 0);
    analogWrite(PINO_PWM_33, 0);
}
}

delay(200); // Pequeno atraso para evitar sobrecarga no loop
}

```