

PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA AUTOMAÇÃO LOGÍSTICA EM AMBIENTES INDUSTRIAIS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0¹

PROPOSAL FOR A SOLUTION FOR LOGISTICS AUTOMATION IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

Mauricio Pereira Braga², Alessandro André Mainardi de Oliveira³ e Herysson Rodrigues Figueiredo⁴

RESUMO

A Indústria 4.0 traz uma transformação nos processos industriais com tecnologias avançadas, como Internet das Coisas e Inteligência Artificial, que impulsionam a automação e a eficiência em operações de manufatura. Este trabalho apresenta uma solução baseada em Veículo Guiado Automatizado para aprimorar o transporte de materiais em ambientes industriais, minimizando a necessidade de intervenção humana e aumentando a segurança. O veículo proposto integra sensores de navegação e sistemas de identificação por *tags*, proporcionando precisão e autonomia na movimentação de cargas. Além do protótipo funcional do veículo, um aplicativo *web* será implementado para monitoramento e controle. A proposta será validada em um ambiente industrial simulado, avaliando sua eficácia e aplicabilidade operacional.

Palavras-chave: AGV; Veículo Guiado Automatizado; Automação; Automação Industrial; IoT; RFID; Aplicativo Web.

ABSTRACT

Industry 4.0 brings a transformation in industrial processes with advanced technologies such as the Internet of Things and Artificial Intelligence, which drive automation and efficiency in manufacturing operations. This work presents a solution based on an Automated Guided Vehicle to improve the transportation of materials in industrial environments, minimizing the need for human intervention and increasing safety. The proposed vehicle integrates navigation sensors and tag identification systems, providing precision and autonomy in cargo movement. Besides the functional prototype of the vehicle, a web application will be implemented for monitoring and control. The proposal will be validated in a simulated industrial environment, evaluating its effectiveness and operational applicability.

Keywords: AGV; Automated Guided Vehicle; Automation; Industrial Automation; IoT; RFID; Web Application.

¹ Trabalho Final de Graduação I do Curso de Ciência da Computação.

² Acadêmico do Curso de Ciência da Computação UFN. E-mail: mauprb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4346-5836>

³ Professor dos Cursos da área de Computação UFN. E-mail: alessandro.andre@ufn.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8579-2635>

⁴ Orientador do Trabalho e Professor dos Cursos da área de Computação UFN. E-mail: herysson.figueiredo@ufn.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2615-9785>

INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0, foi inaugurada pelo governo alemão durante a Feira Industrial de Hannover, em 2011 (BITKOM; VDMA; ZVEI, 2024). Esta era é marcada pela integração de tecnologias como Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*), Sistemas Ciber Físicos e Inteligência Artificial. Estas inovações transformam os ambientes de manufatura, estabelecendo novos padrões para a automação e a eficiência operacional, destacando a interconectividade e a digitalização dos sistemas produtivos (ALP USTUNDAG; EMRE CEVIKCAN, 2018).

Dentro deste cenário tecnológico, os Veículos Guiados Automatizados (*Automated Guided Vehicles - AGVs*) surgem exemplificando a aplicação prática dos princípios da Indústria 4.0. Utilizados em variados contextos, desde operações de trens sem operador até sistemas complexos de manufatura flexível, os AGVs coordenam o transporte de materiais entre diversos pontos de carga e descarga, integrados a sistemas automatizados para aumentar a logística e o fluxo de trabalho (GROOVER, 2014). Contudo, a segurança operacional desses veículos é uma prioridade e, para assegurá-la, é imperativo aderir a normas como a *Verein Deutscher Ingenieure 2510* (VDI 2510) e a Norma Regulamentadora No. 26 (NR-26), que orientam a operação segura dos AGVs, protegendo tanto os trabalhadores quanto as instalações.

Ao implementar uma solução tecnológica que integra sensores para a detecção de obstáculos e linhas para a navegação autônoma dentro de complexos industriais, espera-se mitigar os desafios associados à logística interna. A utilização de identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency Identification - RFID*) e de sensores reflexivos permite não apenas a precisão de locomoção dentro das instalações, mas também a capacidade de realizar entregas de cargas de maneira autônoma, respondendo dinamicamente a alterações no ambiente de trabalho (C LIU; M FAN; R SONG, 2013).

A fundamentação deste trabalho reside na necessidade de aprimorar a eficiência operacional em ambientes industriais, buscando uma significativa redução da dependência do trabalho manual e uma diminuição dos riscos de erros e acidentes. Nesse contexto, a automação no transporte de cargas emerge como um componente relevante para essa transformação, com potencial não apenas para aumentar a segurança no ambiente de trabalho, mas também para reduzir custos operacionais.

O Veículo Guiado Automatizado proposto é projetado para enfrentar esses desafios, oferecendo uma solução eficaz para o transporte de cargas de um ponto a outro dentro de complexos industriais. Integrando sistemas físicos e digitais, o AGV aprimora a precisão, a agilidade e os custos operacionais.

Este trabalho, por meio da automação, tem como objetivo aprimorar a logística em ambientes industriais, desenvolvendo um protótipo funcional de um Veículo Guiado Automatizado que será capaz de navegar por linhas pré-definidas e tomar decisões por meio da leitura de tags RFID. O protótipo do AGV será controlado por um Raspberry Pi, que integrará os sensores necessários para a operação autônoma. Além disso, será desenvolvido um aplicativo *web* para a gestão e o gerenciamento do AGV,

possibilitando a integração com o protótipo do veículo. O sistema será testado e validado quanto à sua eficiência e segurança em um ambiente industrial simulado, assegurando sua aplicabilidade prática.

O trabalho é estruturado em várias seções essenciais para a compreensão e desenvolvimento do projeto. A seção subsequente, o Referencial Teórico, explora os conceitos-chave e as inovações tecnológicas da Indústria 4.0. Em seguida, a revisão de Trabalhos Correlatos apresenta estudos sobre AGVs e tecnologias relacionadas, fundamentais para este projeto. A Metodologia utiliza o método Kanban para a gestão do desenvolvimento. As seções de Resultados e Conclusão discutem o planejamento detalhado e fornecem uma visão completa do projeto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, apresentam-se os conceitos-chave e as inovações tecnológicas que fundamentam o desenvolvimento deste trabalho, enfatizando o papel dos Veículos Guiados Automatizados e suas aplicações para melhorar a eficiência logística e operacional, juntamente com as normas de segurança que regem sua implementação. Também foram pesquisadas as tecnologias de automação, controle e programação e como elas estão interconectadas para criar sistemas mais inteligentes e autônomos.

AUTOMATED GUIDED VEHICLES (AGVS)

Os AGVs referem-se a uma tecnologia de movimentação de materiais que envolve veículos autônomos e autopropelidos. Esses veículos seguem rotas pré-definidas para o transporte de cargas dentro de ambientes como armazéns e fábricas. A principal vantagem dos AGVs é sua operação sem a necessidade de trilhos físicos, facilitando a integração nos espaços de trabalho existentes de maneira menos intrusiva (GROOVER, 2014).

A era dos Veículos Guiados Automatizados teve início nos Estados Unidos em 1953, expandindo-se para a Europa em seguida. A tecnologia inicial caracterizava-se por sistemas de orientação simples e sensores mecânicos. A concepção de substituir operadores humanos por automação em veículos de carga concretizou-se em 1954 pela Barrett-Cravens, em Illinois, culminando na introdução dos primeiros AGVs pela empresa Mercury Motor Freight, na Carolina do Sul, para o transporte de mercadorias em longas distâncias. Esse período marcou o advento da automação no transporte de cargas (ULLRICH; ALBRECHT, 2022).

Atualmente, os AGVs são classificados em três tipos principais (GROOVER, 2014):

- Veículos de Reboque: empregados em composições sem operador para o transporte de cargas pesadas ou volumosas por longas distâncias;
- Caminhões de Paletes: destinados à movimentação de cargas paletizadas em rotas específicas;

- Transportadores de Carga Unitária: projetados para transportar uma ou mais cargas unitárias por longas distâncias, além de ser o modelo proposto neste trabalho.

Considerando a evolução dos Veículos Guiados Automatizados, tornam-se necessárias normas e regulamentações para garantir a segurança e eficiência operacional dos trabalhadores que compartilham os espaços com esses veículos, visando a prevenção de acidentes.

SEGURANÇA E EFICIÊNCIA OPERACIONAL

A segurança e a eficiência operacional são essenciais ao introduzir tecnologias avançadas em ambientes industriais, especialmente na adoção de AGVs. Normas como a VDI 2510 - *Automated Guided Vehicle Systems* (*Verein Deutscher Ingenieure* - Associação de Engenheiros Alemães) e NR-26 - Sinalização de Segurança (Norma Regulamentadora No. 26) são fundamentais para orientar essa adoção, assegurando a segurança dos colaboradores e a proteção das instalações.

A VDI 2510 é uma norma técnica alemã que especifica requisitos para a operação segura de AGVs. Entre esses, destaca-se a limitação da velocidade máxima a 1 metro por segundo (m/s), ou 3,6 quilômetros por hora (km/h), para proteger tanto as pessoas quanto as estruturas nas áreas de operação dos AGVs (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2021).

A NR-26, recomenda o uso da cor amarela para equipamentos de transporte em geral, visando à segurança. Embora não especifique os AGVs diretamente, essa orientação é aplicável a todos os veículos industriais, incluindo AGVs, para melhorar sua visibilidade e, consequentemente, a segurança operacional (BRASIL, 2012).

A integração de tecnologias de controle e automação validadas é crucial para atender às normas mencionadas. Tal abordagem não somente protege a segurança dos trabalhadores e as instalações, mas também promove a eficiência operacional. Assim, o emprego de AGVs em ambientes industriais demanda um comprometimento com segurança e eficácia, recorrendo a soluções tecnológicas de ponta.

TECNOLOGIAS PARA AUTOMAÇÃO E CONTROLE

O Raspberry Pi é um computador de placa única de baixo custo, amplamente adotado em projetos de automação e controle devido à sua robusta capacidade de processamento e versatilidade para a integração de diversos sensores e módulos. Destaca-se em áreas como educação em Ciência da Computação, IoT, Robótica e automação, onde desempenha um papel crucial na construção de sistemas inteligentes e conectados (UPTON; HALFACREE, 2014).

A Identificação por Radiofrequênciia (*Radio-Frequency Identification* - RFID) permite a comunicação e transmissão de dados através de sinais de radiofrequênciia. Ele possibilita o sensoriamento, a contabilização e a indexação de objetos sem necessidade de contato direto ou linha de visão.

O sistema RFID é composto por etiquetas RFID, fixadas nos objetos a serem identificados, e leitores RFID, que captam e interpretam os sinais emitidos (SANTOS, 2022).

O Sensor de Reflexão é empregado primordialmente para a detecção de linhas e objetos próximos, operando por meio da emissão de luz infravermelha e da medição da quantidade de luz refletida de volta por diferentes superfícies. Graças a um fototransistor, ele diferencia superfícies claras das escuras com base na intensidade da luz refletida (POLOLU CORPORATION, 2024), característica essencial para a navegação precisa e eficiente de robôs ao longo de trajetórias pré-definidas.

O Sensor Ultrassônico utiliza o princípio do sonar para calcular a distância até objetos. De maneira semelhante à empregada por morcegos e golfinhos, o sensor ultrassônico oferece medições de distância precisas e estáveis, sem necessidade de contato físico. Seu design inclui módulos transmissor e receptor ultrassônicos, sendo resistente a interferências de luz solar e materiais de cores escuras (SCHWAB, 2017).

Para o pleno funcionamento das tecnologias de automação e controle, é essencial integrá-las adequadamente com tecnologias de programação. Essa integração é crucial para alcançar a máxima eficiência e precisão.

TECNOLOGIAS PARA PROGRAMAÇÃO

MicroPython é uma implementação ágil da linguagem Python na sua versão 3, otimizada para microcontroladores e ambientes com recursos limitados, trazendo um subconjunto da biblioteca padrão do Python. Sua concepção visa facilitar o desenvolvimento em sistemas embarcados, ao mesmo tempo em que mantém a máxima compatibilidade com o Python padrão (GEORGE, 2024).

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) é o protocolo preferido para a IoT, permitindo a publicação e assinatura de dados por dispositivos IoT. O MQTT facilita a comunicação entre dispositivos através de tópicos, mediada por um *broker* MQTT que distribui as mensagens corretamente. Sua arquitetura eficiente e de baixo consumo de recursos é ideal para ambientes IoT (HIVEMQ, 2024).

Next.js é um *framework* de React criado pela Vercel que amplia as capacidades do React, oferecendo soluções para renderização do lado do servidor, geração de sites estáticos e desempenho inicial da página (VERCEL, 2024).

A fim de garantir a eficiência e precisão no desenvolvimento de sistemas automatizados, é essencial integrar as tecnologias com práticas emergentes e comprovadas. A seguir, são apresentados trabalhos correlatos que demonstram a aplicação prática de várias tecnologias, especialmente no desenvolvimento de Veículos Guiados Automatizados, contribuindo significativamente para os avanços deste trabalho.

TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção apresenta artigos sobre o uso e desenvolvimento de AGVs e suas tecnologias, abordando navegação e reconhecimento via RFID, modelagem de protótipos de AGV e a conexão entre AGVs e IoT.

VEÍCULOS GUIADOS AUTOMATIZADOS NA INDÚSTRIA 4.0

Jasprabhjit Mehami, Mauludin Nawi e Ray Y Zhong (2018) exploram a adoção de AGVs em fábricas inteligentes. Equiparam dois AGVs com leitores RFID para navegação e reconhecimento de etiquetas no solo e em objetos, aprimorando a logística interna.

Os resultados alcançados demonstraram ser notáveis, comprovando que a integração de Veículos Guiados Automatizados com a tecnologia de RFID pode aprimorar consideravelmente a eficiência operacional em ambientes fabris. Destaca-se que a integração entre RFID e AGVs representa a principal contribuição do artigo para o desenvolvimento da proposta deste trabalho.

PROTÓTIPO DE AGV PARA FÁBRICAS INTELIGENTES

Hiroki Sasamoto *et al.* (2021) investigam a modelagem e implementação de um AGV para transporte de materiais. O design utiliza tração diferencial e chapas de aço cortadas a *laser*, garantindo robustez estrutural capaz de suportar até 700 kg, confirmada por Análise de Elementos Finitos.

Os testes realizados validaram a eficácia do AGV em navegar automaticamente pela fábrica, transportando cargas pesadas e evitando obstáculos. No entanto, o principal elemento que agregou ao desenvolvimento deste trabalho foi a robustez da estrutura mecânica do protótipo.

AGV BASEADO EM IOT PARA ASSISTÊNCIA MÉDICA

Ananthi K *et al.* (2022) apresentam um AGV adaptado para ambientes hospitalares, visando reduzir o contato físico durante a pandemia de COVID-19. O AGV realiza distribuição de medicamentos, medições vitais e permite consultas via videochamada, transmitindo informações aos profissionais de saúde via IoT.

O artigo finaliza afirmando que o sistema AGV vai além de apenas atender à necessidade urgente de minimizar os riscos de contágio durante a pandemia. Ele se integra de forma eficaz às operações diárias dos hospitais. Essa capacidade de integração operacional se destacou como a característica mais influente para o presente trabalho, aprimorando a sinergia entre máquinas e sistemas.

Os trabalhos correlatos apresentados fornecem uma base sólida para este trabalho, orientando a escolha de metodologias e práticas de trabalho. As metodologias ágeis, como o Kanban,

que incentivam a prototipação, são particularmente relevantes, pois permitem adaptações rápidas e incrementais, promovendo a eficiência e a melhoria contínua dos processos.

METODOLOGIA

A metodologia ágil surgiu como resposta às limitações dos métodos tradicionais de desenvolvimento de *software*, que se mostravam burocráticos e inflexíveis, especialmente inadequados para projetos de pequeno e médio porte. Diferente das abordagens tradicionais, que enfatizam planejamento rigoroso e documentação extensiva, a metodologia ágil foca no desenvolvimento incremental do *software*, adaptando-se às mudanças de requisitos ao longo do projeto (SOMMERVILLE, 2011). Para o desenvolvimento deste trabalho, foi escolhido o método Kanban.

O método Kanban, criado na Toyota e adaptado para desenvolvimento de *software* por David Anderson, é uma abordagem de gestão que prioriza a melhoria contínua dos processos e a entrega eficaz de serviços. A ferramenta central do Kanban é o quadro, que organiza as tarefas em três estágios (PRESSMAN *et al.*, 2021): “A Fazer”, onde as tarefas prontas para início são listadas; “Em Andamento”, onde as tarefas ativas são gerenciadas com prazo de conclusão; e “Concluído”, que reúne as tarefas finalizadas, destacando as que foram concluídas dentro do prazo.

Para a efetiva implementação das práticas do Kanban neste projeto, fez-se um estudo de caso detalhando o funcionamento do projeto, resultando no levantamento e definição dos requisitos do projeto.

ESTUDO DE CASO

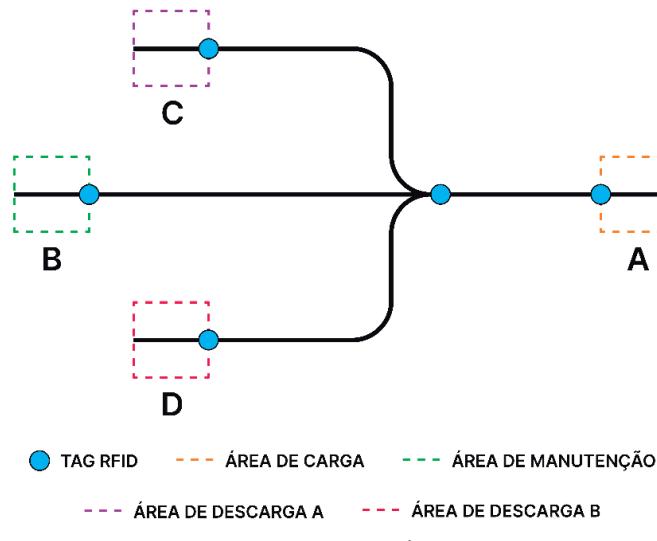
Neste trabalho, conforme ilustra a Figura 1, o AGV opera em um ambiente predefinido que inclui quatro áreas principais: área de carga, área de manutenção, área de descarga A e área de descarga B.

- Área de Carga (A): Local onde o AGV carrega os itens a serem transportados.
- Área de Manutenção (B): Espaço designado para a manutenção e verificação do AGV, garantindo que ele esteja sempre operando nas melhores condições.
- Área de Descarga A (C): Um dos destinos possíveis para os itens transportados pelo AGV. A decisão de descarregar nesta área é tomada com base em informações recebidas via *tags* RFID.
- Área de Descarga B (D): Outro destino possível para os itens transportados pelo AGV, também determinado pelo sistema de *tags* RFID.

O AGV utiliza *tags* RFID para decidir seu trajeto, lendo informações que o orientam para áreas como carga, manutenção ou descarga. Com um sensor reflexivo, ele segue linhas pretas no chão, garantindo que permaneça nas rotas predefinidas. Um sensor ultrassônico detecta obstáculos no

caminho, permitindo que o AGV pare quando necessário e assegurando uma navegação segura. Além disso, um aplicativo *web* permite monitorar e controlar o AGV remotamente, oferecendo visualização em tempo instantâneo do *status*, definição de rotas, gerenciamento de cargas e descargas, e registro de atividades para análise e controle do sistema.

Figura 1 - Layout de Percurso do AGV.



Fonte: Construção do Autor.

LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Esta seção descreve o processo estruturado de levantamento e definição de requisitos para o desenvolvimento de um AGV. A metodologia envolveu as etapas de captura, aprovação, refinamento e detalhamento dos requisitos.

Na fase de captura, exploraram-se as funcionalidades potenciais do AGV dentro de um ambiente industrial para compilar uma lista inicial de requisitos. Foram considerados tanto os requisitos funcionais, como seguir linha e transportar cargas, quanto os requisitos não funcionais, relacionados a atributos de qualidade do sistema, como segurança e desempenho (PRESSMAN *et al.*, 2021).

Durante a aprovação, cada requisito identificado foi cuidadosamente revisado para garantir seu alinhamento com os objetivos do projeto e a viabilidade técnica. Esse processo de validação filtrou e confirmou as funcionalidades propostas, assegurando que apenas os requisitos relevantes e executáveis avançassem para a próxima fase.

No refinamento, os requisitos aprovados foram ajustados para eliminar ambiguidades e melhorar a clareza. Por exemplo, a funcionalidade inicial de desvio de obstáculos foi modificada para que o veículo pare ao detectar um obstáculo, visando maior segurança e praticidade.

O resultado foi a definição objetiva dos requisitos funcionais e não funcionais, organizados por prioridade. Entre os requisitos funcionais, destacam-se a capacidade do veículo de se locomover em todas as direções, navegar por linhas pré-definidas no solo, identificar pontos de controle

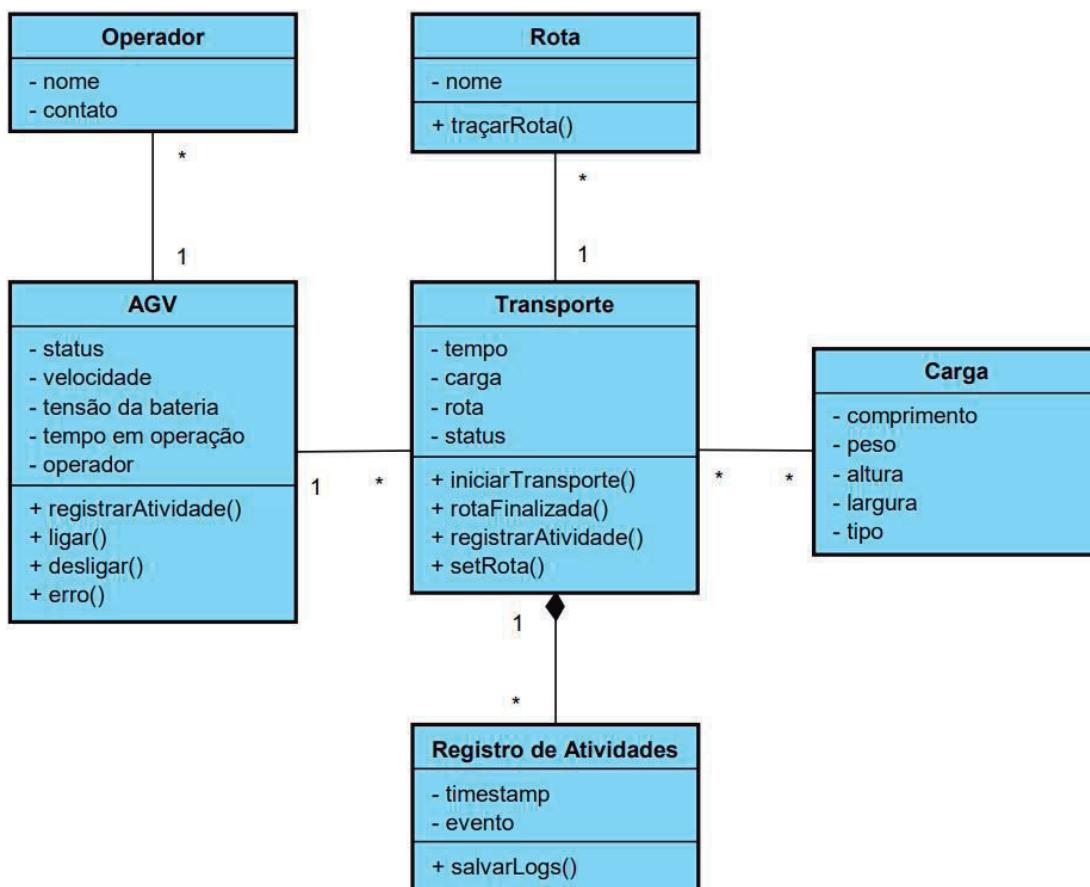
via *tags* RFID e transportar cargas. Além disso, o veículo deve parar ao identificar obstáculos, comunicar-se com o aplicativo *web*, retornar à área de carga após a descarga e permitir o acompanhamento remoto de sua trajetória. Outros aspectos incluem possibilitar ao usuário definir o tipo de carga a ser transportada, parar ou iniciar as operações remotamente, notificar erros durante a operação e exibir métricas como distância percorrida, tempo de operação e tipo de carga.

Os requisitos não funcionais envolvem facilitação de diagnósticos e reparos remotos, conformidade com normas de segurança como VDI 2510 e NR-26 e um *design* mecânico que minimize riscos de acidentes. Também é exigida uma taxa de erro nas decisões de navegação inferior a 1% e o registro de todas as ações do AGV pelo sistema.

A fase de detalhamento é essencial para especificar claramente os requisitos levantados e refinados. Nesta etapa, os requisitos são desmembrados em projetos de *software*, mecânicos e eletrônicos. O detalhamento realizado está evidenciado na construção de diagrama como o da Figura 2 e nos resultados, garantindo que os requisitos mais complexos sejam compreendidos de forma precisa e possam ser efetivamente aplicados.

Para esclarecer as funcionalidades e inter-relações do sistema, foi elaborado um diagrama de domínio, apresentando as principais classes do domínio da solução proposta, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Domínio.



Fonte: Construção do Autor.

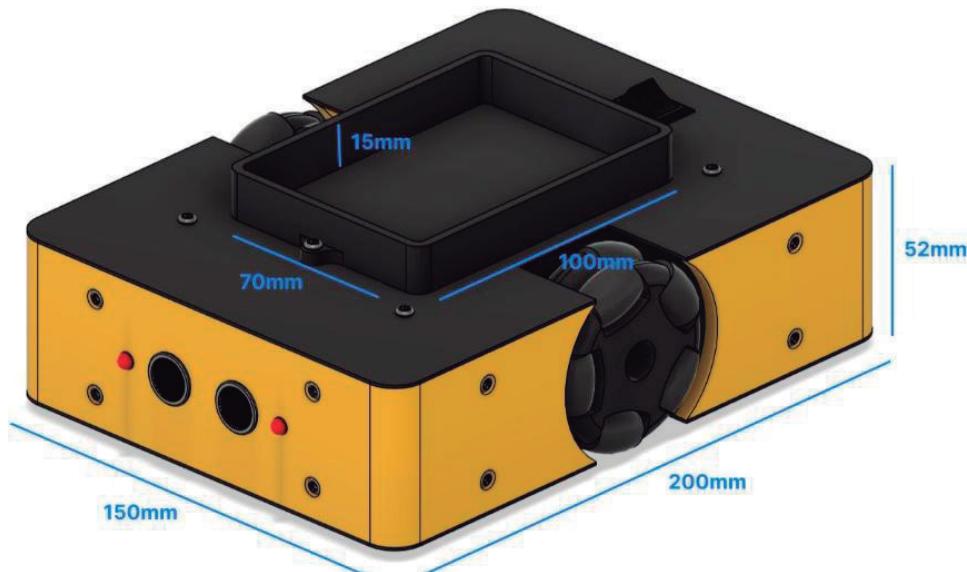
RESULTADOS

No projeto do AGV, foi escolhida uma estrutura mecânica predominantemente de plástico, com a eletrônica centralizada em uma placa Raspberry Pi programada em MicroPython. O AGV conta com motores para locomoção, sensores reflexivos e ultrassônicos para navegação e detecção de obstáculos, além de um leitor de *tags* RFID para identificar pontos de referência no ambiente.

O aplicativo associado foi desenvolvido inteiramente em Next.js, aproveitando os recursos de componentes cliente e servidor para criar uma arquitetura totalmente integrada. Essa integração permite que a comunicação com o banco de dados relacional seja eficiente, otimizando o armazenamento e o acesso aos dados. Como resultado, a interface do usuário é rápida e intuitiva, facilitando a interação remota. A aplicação é executada através de um serviço externo, utilizando o protocolo MQTT para estabelecer a comunicação entre o servidor e o Raspberry Pi, garantindo uma ponte confiável entre os sistemas.

O AGV foi modelado tridimensionalmente para transportar cargas unitárias de até 100 mm de comprimento, 70 mm de largura e altura de suporte de 15 mm, tendo dimensões próprias de 200 mm de comprimento, 150 mm de largura e 52 mm de altura. O veículo possui seis rodas, sendo duas rodas de tração e quatro rodízios ocultos para apoio, o que proporciona estabilidade e manobrabilidade durante o deslocamento. O design segue normas vigentes, como a NR-26, priorizando a segurança no ambiente operacional. A Figura 4 apresenta o desenho tridimensional do AGV.

Figura 4 - Desenho Tridimensional do AGV.

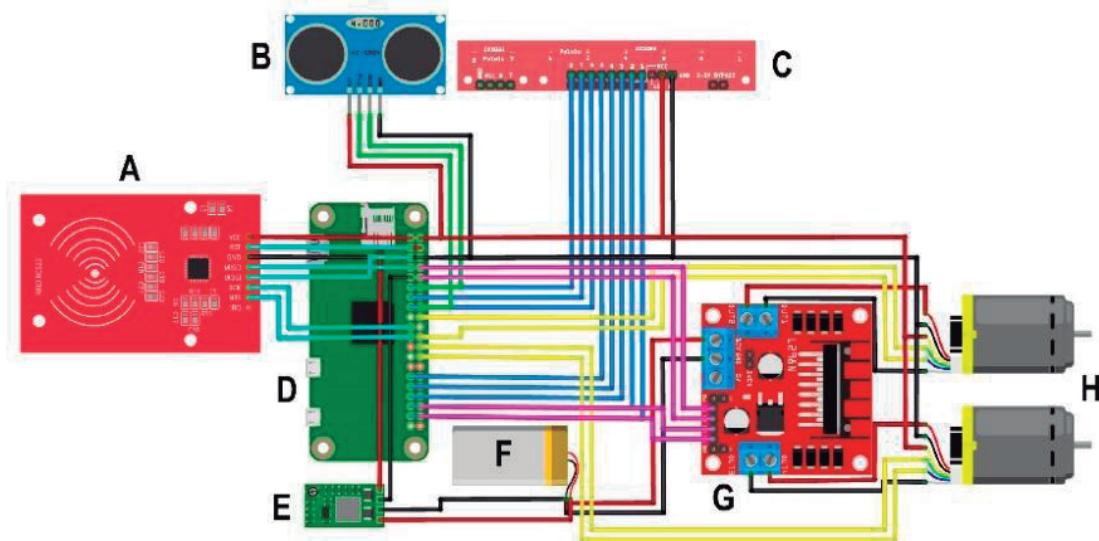


Fonte: Construção do Autor.

A Figura 5 ilustra o esquema eletrônico que fundamenta o protótipo do AGV, destacando a organização e a conexão entre os componentes essenciais. No esquema, o componente A representa

o leitor RFID; o componente B, um sensor ultrassônico; o componente C, um sensor reflexivo; o componente D, o Raspberry Pi. O componente E é um módulo regulador de tensão, responsável por estabilizar a alimentação elétrica para os componentes eletrônicos que operam em uma tensão menor que a da bateria; enquanto o componente F representa a bateria. O componente G é o driver de motores, utilizado para controlar os motores; e o componente H são os motores, responsáveis diretos pela movimentação do AGV.

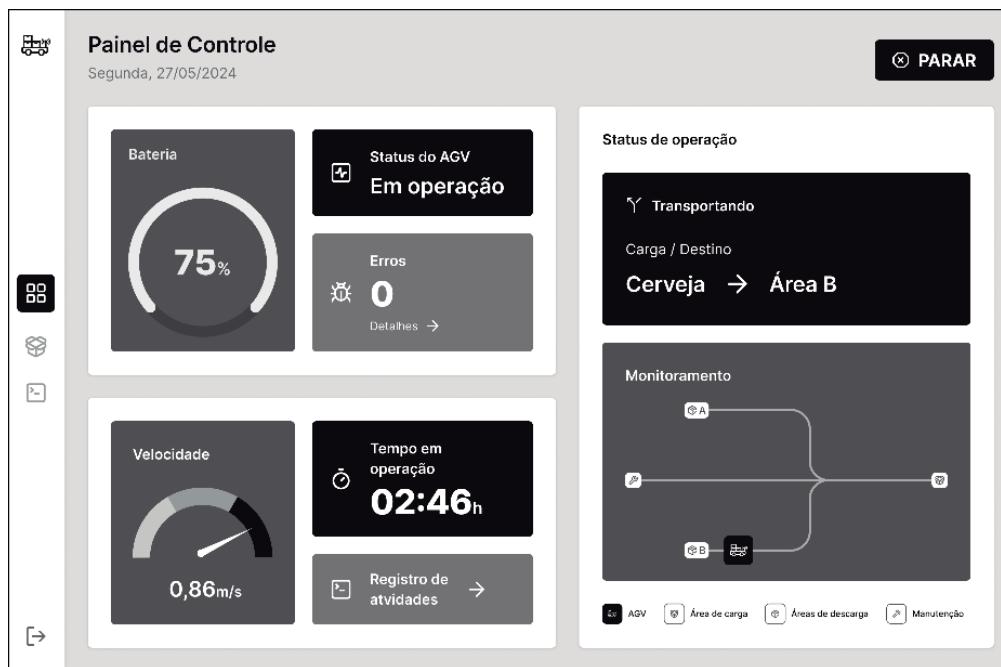
Figura 5 - Esquema Eletrônico.



Fonte: Construção do Autor.

Além da estrutura mecânica e eletrônica do AGV, as interfaces de comunicação com o usuário são cruciais. Foram criados protótipos para o aplicativo *web* que facilitam a gestão e o controle do AGV, permitindo o monitoramento de métricas, gestão de transporte, manutenção e registro de atividades. Essas interfaces oferecem uma interação intuitiva e eficaz, melhorando a supervisão do AGV e permitindo respostas rápidas a situações operacionais ou emergenciais.

A Figura 6 exibe o protótipo do painel de controle do aplicativo *web* para gerenciar o Veículo Guiado Automatizado. A interface mostra o status de operação do AGV, porcentagem de bateria, detalhes da operação atual (como transporte de cerveja para a “Área B”), monitoramento do percurso, registro de erros, velocidade atual e tempo total em operação. O painel permite interrupções imediatas das operações através de um botão “PARAR”, proporcionando ao operador controle total e capacidade de resposta rápida a qualquer situação.

Figura 6 - Protótipo de Tela do Painel de Controle.

Fonte: Construção do Autor.

Complementando com a funcionalidade de transporte, a Figura 8 mostra a interface para “Realizar Novo Transporte”. Esta tela é projetada para permitir que os operadores configurem um novo transporte, especificando destino, tipo de carga, e suas dimensões, como comprimento, largura, altura e peso.

Figura 8 - Protótipo de Tela do Realizar Novo Transporte.

A interface de usuário para “Realizar Novo Transporte” é composta por campos para “Destino”, “Tipo”, “Medidas” (com campos para Comprimento, Largura, Altura e Peso) e botões para “Setar carga” e “Cancelar”.

Fonte: Construção do Autor.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma proposta para o desenvolvimento de um Veículo Guiado Automatizado (*Automated Guided Vehicle - AGV*) integrado com tecnologias emergentes da Indústria 4.0, incluindo sensores para detecção de obstáculos, navegação autônoma por linhas e identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency Identification - RFID*). O objetivo central foi aprimorar a eficiência operacional e a segurança em ambientes industriais, buscando reduzir a dependência do trabalho manual e mitigar riscos de erros e acidentes. Embora os resultados sejam parciais, uma vez que este trabalho se configura como uma proposta, os objetivos estabelecidos foram alcançados no âmbito conceitual e de planejamento.

A integração de sistemas físicos e digitais no AGV proposto demonstra o potencial para melhorar a precisão, a agilidade e reduzir custos operacionais em complexos industriais. Além disso, o desenvolvimento de um aplicativo *web* para gestão e gerenciamento do AGV reforça a importância da conectividade e da digitalização nos processos logísticos modernos.

Para trabalhos futuros, pretende-se executar o projeto proposto em um ambiente industrial simulado, a fim de realizar testes de eficiência e segurança. Essa etapa será fundamental para validar a aplicabilidade prática da solução e identificar possíveis melhorias. Assim, espera-se que este trabalho contribua para a evolução das práticas logísticas na Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

ANANTHI, K.; BRUNDHAVANI, G.; SUHAIL, H. A.; DHAYANITHI, K.; GOPINATH, K. **IoT based AGV system for medicare.** In: 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS AND SUSTAINABLE COMMUNICATION SYSTEMS (ICESC), 2022. Anais... p. 410-414, 2022. DOI: 10.1109/ICESC54411.2022.9885709.

BITKOM; VDMA; ZVEI. **Implementation strategy Industrie 4.0: report on the results of the Industrie 4.0 Platform.** 2016. Disponível em: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/Implementation_Strategy_Industrie_4.0_-_Report_on_the_results_of_Industrie_4.0_Platform/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf. Acesso em: 27 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n.º 26 (NR-26): sinalização de segurança.** Publicada em 06 jul. 1978. Última atualização em 05 set. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/normas-regulamentadoras/nr-26>. Acesso em: 29 out. 2024.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing.** Pearson, 2014.

HIVEMQ. **MQTT Essentials: the ultimate guide to the MQTT protocol for IoT messaging.** Disponível em: <https://www.hivemq.com/resources/download-mqtt-ebook>. Acesso em: 27 out. 2024.

LIU, C.; FAN, M.; SONG, R. **A novel intelligent and agile warehouse system for energy meter storage.** In: 3rd IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICIST), 2013. Anais... Piscataway: IEEE, 2013. p. 129-133. DOI: 10.1109/ICIST.2013.6747560.

MEHAMI, J.; NAWI, M.; ZHONG, R. Y. **Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0.** Procedia Manufacturing, v. 26, p. 1077-1086, 2018. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.144.

POLOLU CORPORATION. **QTR-8A and QTR-8RC Reflectance Sensor Array User's Guide.** Disponível em: <https://www.pololu.com/docs/pdf/0J12/QTR-8x.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R.; ARAKAKI, J.; ARAKAKI, R.; ANDRADE, R. M. de; COSTA, F. E. **Engenharia de software.** AMGH, 2021.

SANTOS, S. V. dos. **RFID: conceitos, implementação e desempenho com baixo custo computacional.** Editora Dialética, 2022.

SASAMOTO, H.; VELÁZQUEZ, R.; GUTIÉRREZ, S.; CARDONA, M.; GHAVIFEKR, A. A.; VISCONTI, P. **Modeling and prototype implementation of an automated guided vehicle for smart factories.** In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND APPLIED NETWORK TECHNOLOGIES (ICMLANT), 2021. Anais... p. 1-6, 2021. DOI: 10.1109/ICMLANT53170.2021.9690543.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution.** Portfolio, 2017.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software.** Pearson Prentice Hall, 2011.

ULLRICH, G.; ALBRECHT, T. **Automated guided vehicle systems: a guide with practical applications about the technology for planning.** Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022.

UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi user guide.** Wiley, 2014.

USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. **Industry 4.0: managing the digital transformation.** Springer, 2018.

VERCEL. **What is Next.js?** Disponível em: <https://nextjs.org/docs>. Acesso em: 28 out. 2024.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **Specification for the operation of automated guided vehicles.** VDI 2510. Alemanha: Verein Deutscher Ingenieure, 2021.