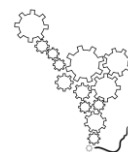




www.relainep.ufpr.br



STUDY FOR IMPLEMENTATION OF AMRS IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE AMRS EM UM AMBIENTE INDUSTRIAL

Dalzira Pereira¹, Lincon Nozawa¹, Davidson Moura¹

Instituto Brasileiro de Biotecnologia e Inovação¹, Manaus, Amazonas / Brasil

✉ dalzira.pereira@ibbi.org.com

Recebido: 08 maio 2025 / Aceito: 25 setembro 2025 / Publicado: 30 março de 2026

ABSTRACT. Automation has become essential for the efficiency of industrial processes. In this context, Autonomous Mobile Robots (AMRs) stand out as an innovative solution for internal logistics processes, enabling greater flexibility, efficiency, and operational safety. This research aims to investigate the implementation of AMRs in an industrial environment and, thus, improve the delivery of finished products, reduce manual efforts, minimize operational errors, and optimize the internal logistics time of the company under study.

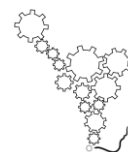
Through applied research, combining qualitative and quantitative approaches and using descriptive study techniques, a comprehensive study was conducted to optimize the process, considering factors such as load capacity, the impact of distance on production flow, and compliance with safety standards, such as ISO 3691-4.

A technological solution based on Industry 4.0 concepts was proposed, in addition to preliminary analyses and tests to assess the potential of AMRs. The preliminary results indicate significant gains in the production process, making this alternative viable for improving the internal transportation of finished products.

Keywords: Autonomous Mobile Robots, Industry 4.0, Logistics Automation, Productive Efficiency, Industrial Safety.

RESUMO. A automatização tem se tornado essencial para a eficiência dos processos industriais. Nesse contexto, os Robôs Móveis Autônomos (AMRs) destacam-se como uma solução inovadora para processos logísticos internos, possibilitando maior flexibilidade, eficiência e segurança operacional. A presente pesquisa tem como objetivo investigar a viabilidade da implementação de AMRs em um ambiente industrial e, assim, aprimorar a movimentação de produtos acabados, reduzindo esforços manuais, minimizando erros operacionais e otimizando o tempo do processo logístico interno da empresa em estudo. Por meio de uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa e utilizando técnicas de estudos descritivos, buscou-se um estudo abrangente para a otimização do processo, considerando fatores como capacidade de carga, impacto da distância no fluxo produtivo e conformidade com as normas de segurança, como a ISO 3691-4. Foi proposta uma solução tecnológica baseada nos conceitos da Indústria 4.0, além da realização de análises e testes preliminares para avaliar o potencial dos AMRs. Os resultados preliminares indicam ganhos significativos para o processo produtivo, tornando essa alternativa viável para otimizar o transporte interno de produtos acabados.

Palavras-chave: Robôs Móveis Autônomos, Indústria 4.0, Automação Logística, Eficiência Produtiva, Segurança Industrial.



1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem transformando significativamente os processos produtivos, incentivando a automatização dos fluxos operacionais. No contexto industrial, um dos principais desafios das grandes empresas está relacionado à movimentação e monitoramento eficiente de produtos acabados com a redução de gargalos logísticos. É factível que o transporte interno de produtos dependa da operação manual, o que pode acarretar em ineficiências, riscos ergonômicos e falhas operacionais.

Nesse cenário, a robótica colaborativa emerge como uma tecnologia inovadora, caracterizando-se pela capacidade de operar em ambientes dinâmicos, proporcionando maior flexibilidade e segurança no transporte de insumos. Diferente dos AGVs, que são dependente de infraestrutura física e exigem mapeamento prévio do ambiente, os AMRs percebem o ambiente em tempo real para tomar decisões autônomas de navegação (MELO, 2024).

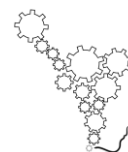
Diante dessa temática, o presente estudo propõe uma análise de viabilidade da implementação de Robôs Móveis Autônomos (AMRs) em um ambiente fabril, considerando aspectos tecnológicos, logísticos e estratégicos. O estudo contempla desde a caracterização das tecnologias envolvidas até a avaliação dos impactos operacionais resultantes dessa adoção, viabilizando a tomada de decisão quanto à incorporação dessa solução no atual cenário da industrial.

1.1. OBJETIVO

Avaliar e implementar um sistema automatizado de transporte de produtos acabados utilizando robôs AMR, a fim de otimizar a eficiência, reduzir erros operacionais e melhorar o tempo de processo logístico da empresa em estudo.

Objetivos específicos

- Analisar e mapear o fluxo do processo atual;
- Desenvolver uma solução robótica que permita o transporte eficiente de produtos acabados;
- Aplicar os pilares da indústria 4.0 à solução proposta;
- Realizar testes de validação para garantir que a solução atenda aos requisitos do processo;



2 MÉTODO

O presente estudo baseou-se em uma metodologia de natureza aplicada, levando em consideração que seu foco está na solução de problemas práticos em um ambiente de produtivo, por meio de análise implementação pilares da Indústria 4.0.

Quanto a sua abordagem, o estudo será baseado em uma abordagem **qualitativa e quantitativa**, combinando a análise de processos com a implementação de soluções tecnológicas.

Além disso, a pesquisa é classificada como descritiva, com o objetivo de descrever o processo existente, os problemas enfrentados e as soluções adotadas, explicando como as tecnologias propostas podem melhorar o desempenho do sistema, seguindo as principais etapas:

1. Fundamentação teórica;
2. Análise e mapeamento do processo;
3. Desenvolvimento da solução tecnológica;
4. Testes e implementação;
5. Análise dos dados qualitativos e quantitativos

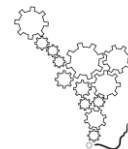
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1.1 Indústria 4.0

Apresentada pela primeira vez em 2011, na Alemanha, durante feira de Hannover, a indústria 4.0 surgiu da necessidade de transformar a maneira como as organizações fabricam, aprimoram e gerenciam seus processos produtivos e recursos (BAROLLO; FREITAS, 2022).

Também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0 integra máquinas e dispositivos por meio redes de sensores e softwares, utilizados para melhorar de prever, controlar e planejar resultados. Nesse sentido, ela é caracterizada pela conectividade: máquinas, peças de trabalho e sistemas conectados ao longo da cadeia de valor de uma empresa (GOUDARD *et al.*, 2020).

Para Neiva et al. (2020) o termo Indústria 4.0 define um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos, voltado cada vez mais para as necessidades individuais dos clientes.



2.1.1.1 Princípios da Indústria 4.0

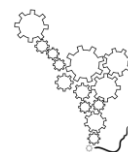
De acordo com Bittencourt (2021), existem seis princípios fundamentais para o desenvolvimento e a implantação da Indústria 4.0, que definem os sistemas de produção inteligentes. São eles:

- a) **Capacidade de operação em tempo real:** refere-se à aquisição e ao tratamento de dados de forma prática, permitindo a tomada de decisão em tempo real;
- b) **Virtualização:** está relacionada a simulações e a existência de cópias digitais das fábricas;
- c) **Descentralização:** utiliza sistemas Ciberfísicos para a tomada de decisões, de acordo com as necessidades da produção em tempo real;
- d) **Orientação de serviços:** utiliza a arquitetura de serviços de software orientada a serviços aliados aos conceitos de *Internet of Services*;
- e) **Modularidade:** faz uso de módulos de produção, oferecendo maior flexibilidade para adaptar as tarefas das máquinas conforme a demanda;
- f) **Orientação por serviço:** refere-se à capacidade de comunicação entre humanos e máquinas para realização de tarefas, a partir de qualquer dispositivo local, cujo sistema possibilita ser configurado para enviar alerta aos gestores a partir de padrões específicos.

2.1.1.2 Tecnologias aplicadas à Indústria 4.0

A indústria 4.0 é sustentada por nove pilares que interagem entre si, modernizando o processo produtivo e proporcionando maior eficiência, redução de custo e alta customização (MELO, 2020):

1. **Big-Data:** coleta e a análise de grandes volumes, permitindo aprimorar a gestão e orientar a tomada de decisões da organizacionais;
2. **Robôs autônomos:** possibilitam a interação com outros robôs ou seres humanos trazendo segurança e maior produtividade;
3. **Simulação:** aplicação de testes em cenários virtuais, com o objetivo de reduzir falhas e tempos de execução;
4. **Sistema de integração:** integram as cadeias de valor, viabilizando a automação e a conectividade dos processos;



5. **Internet das coisas (Iot):** conexão entre dispositivos, sensores e máquinas que utilizam a internet como canal de comunicação;
6. **Cibersegurança:** sistemas de comunicação seguros e confiáveis, que protegem os dados contra acessos não autorizados;
7. **Computação em Nuvem:** armazenamento de informações em servidores acessíveis de qualquer lugar por meio da internet;
8. **Manufatura aditiva:** processo de impressão 3D que possibilita a criação de produtos complexos e personalizados;
9. **Realidade aumentada:** tecnologia que integra o mundo real com elementos virtuais, projetados por meio de dispositivos como celular, tablete, entre outros. (SILVA, 2025).

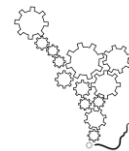
2.1.2 Robô

Segundo Gonzalez (1987, p. 1), a palavra “robot”, é originária do Tcheco, *robota*, significando trabalho. O Dicionário Webster define robô como um dispositivo automático que realiza atividades humanas. Com esta definição, máquinas de lavar roupa, poderiam ser consideradas robôs. Já a definição usada pela *Robot Institute of America* descreve mais precisamente os robôs industriais como manipuladores reprogramáveis multifuncionais destinados a mover materiais, ferramentas ou dispositivos especializados com movimentos programados para uma variedade de tarefas.

2.1.2.1 Robôs Moveis Autônomos (AMRs)

Autonomous Mobile Robot (AMR), ou Robô Móvel Autônomo, é um tipo de robô projetado para navegar e realizar tarefas de forma independente em um ambiente dinâmico, sem a necessidade de intervenção humana direta. Ao contrário de robôs tradicionais, que frequentemente operam sob controle remoto ou com movimentação limitada a trajetórias predeterminadas, os AMRs são equipados com tecnologias que permitem a percepção e a adaptação ao ambiente ao seu redor (INTEL CORPORATION, 2025).

Esses robôs utilizam uma combinação de sensores como LIDAR, sensores de proximidade, ultrassônicos ou até câmeras, e algoritmos avançados de processamento de dados para identificar obstáculos, mapear o ambiente e tomar decisões em tempo real sobre a melhor maneira de se deslocar. Em muitas aplicações, os AMRs são capazes de realizar tarefas como



transporte de materiais, limpeza, e até mesmo serviços de segurança, sem a necessidade de constante supervisão humana (MEGALUX,2025).

2.1.2.1.1 Omron LD-90

De acordo com o manual do AMR (OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION,2025), a plataforma LD é de propósito generalista, uma plataforma de robôs móveis destinados para trabalhos internos e entre pessoas. A plataforma LD-90 é concebida para transporte de até 90kg, incluindo a estrutura que comumente sustenta a carga.

Segundo o site da fabricante OMRON (2025), diferentemente de AGVs convencionais, os AMRs deslocam-se pela instalação sem a necessidade de modificação dispendiosa por utilizar os sensores LIDAR para se guiar.

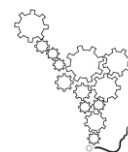
2.1.3 Logística Interna e Movimentação de Materiais

Segundo Batista (2021), a logística interna é definida como o gerenciamento do processo de abastecimento, armazenamento, transporte e distribuição das mercadorias dentro da organização. Além disso, buscar oferecer condições e materiais necessários para a otimização das atividades de maneira eficiente e eficaz.

De acordo com Correia et al (2023), estoque poder ser definido como aglomerado de recursos matérias em um sistema de produção, incluindo matérias-primas, componentes, produtos em processos e produtos acabados mantidos para satisfazer a demanda futura. Já a gestão de estoque envolve o planejamento, organização e o controle de todas as atividades relacionadas à aquisição, armazenamento, movimentação e manutenção de itens em estoque, visando atender aos objetivos da organização.

Para Silva (2023), os estoques em indústria de manufatura são geralmente classificados em três tipos categorias:

- **Estoque de matéria-prima:** armazena o produto base para o processo produtivo.
- **Estoque de produto acabado:** armazena o produto em sua forma final. Devido ao seu maior valor agregado, esse tipo de estoque é mais caro de se manter.
- **Estoque intermediário:** armazena o material que ao longo do processo é transformado em produto final.



Para que a movimentação de materiais ocorra de forma eficiente, é fundamental idealizar um layout do armazenamento adequado ao tipo de produto, bem como a sua gestão no estoque. Caso os produtos estejam mal distribuídos ou sem sua devida classificação, a movimentação será maior e, conseqüentemente a produtividade menor (TEDGUE, 2023).

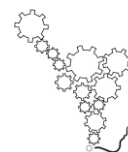
Silva (2022) destaca a existência de métricas de desempenho nas atividades de movimentações logísticas, que possibilitam o monitoramento de indicadores como níveis devoluções, avarias, reentregas, tempos de movimentação e prazos de entrega. A autora ainda enfatiza que, para manter um sistema de movimentação de materiais eficiente, é necessário conspirar aspectos como redução de custo, aumento de capacidade produtiva e melhoria das condições de trabalho para os colaboradores.

Segundo Pereira (2022), a forma de controle e movimentação de materiais varia conforme a sistema de produção e armazenamento, seja ela manual ou automatizada. A movimentação manual necessita do esforço físico dos operadores, podendo ocasionar fadiga, lesões e riscos à saúde. Para mitigar tais problemas, a adoção de tecnologias que alinhem as tarefas à capacidade dos operadores contribui para não apenas a redução desses impactos, como também para o aumento da produtividade e qualidade do serviço.

2.1.4 Segurança no Trabalho e suas Normas

A saúde, segurança e medicina do trabalho têm como objetivo garantir a redução dos riscos relacionados às atividades laborais, conforme previsto pela Constituição. Essas práticas são regidas por Normas Regulamentadoras, as chamadas NRs, que servem de base para o exercício profissional e fiscalização por órgãos públicos. O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), órgão responsável pela fiscalização, pode interditar empresas que não comprem os requisitos legais, aplicando multas e encargos em casos de risco aos trabalhadores (FREITAS, et al, 2020).

Com o advento da Indústria 4.0, as NRs foram modificadas por meio de uma comissão composta por representantes do governo, empregadores e empregados. Algumas sofreram alterações para atender às novas demandas, considerando as implementações de novas tecnologias nas indústrias (FREITAS, et al., 2020).



2.1.4.1 ABNT ISO 3691-4

A normas internacionais como a ISO 3691-4 ganharam importância, pois determinam requisitos específicos de segurança para veículos industriais autônomos. A integração da ISO 3691-4 às diretrizes nacionais contribui para garantir a segurança dos trabalhadores diante da crescente automação e digitalização dos ambientes industriais. Por outro lado, apesar de ser uma tecnologia que vem crescendo no setor logístico, a literatura acadêmica que relata sobre a importância da ISO 3691-4 é bastante limitada.

Por outro lado, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2020) a ISO 3691-4 estabelece os requisitos de segurança e os métodos de verificação para veículos industriais sem condutor e seus sistemas utilizados para transporte de cargas em ambientes industriais.

A norma aplica-se a:

- Veículos automáticos (AGVs) que se movem sem condutor.
- Sistemas com ou sem transporte de carga.
- Sistemas que operam em áreas com ou sem pessoas.
- AGVs com funções como empilhamento, reboque ou transporte.

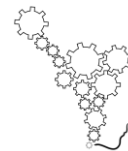
Não se aplica a:

- Veículos com condutor a bordo.
- Sistemas de transporte aéreo ou ferroviário fixo.
- Equipamentos de construção ou agrícolas.

Quanto aos requisitos de segurança, a norma determina que o sistema deve possuir:

- Sistema de detecção de obstáculos/pessoas (ex.: scanners, câmeras);
- Velocidade segura e controlada;
- Sistemas de parada de emergência acessíveis e eficazes;
- Comportamento seguro em situações de falha (fail-safe);
- Reinicialização segura após paradas ou falhas;
- Avisos visuais e sonoros adequados;
- Interação segura com humanos e outros veículos.

No que se refere aos requisitos de software, a norma estabelece que o veículo deve possuir sistema de controle, lógica de decisão e confiabilidade, além de orientações de boas práticas



no desenvolvimento de um software seguro e integridade funcional (ABNT ISO 3691-4,2020).

2.1.5 Mapeamento de processos

Embora alguns autores utilizem o termo “mapeamento de processos” e “modelagem de processos” como sinônimo, é importante ressaltar que essa equivalência não é precisa. Modelagem de processos é a representação gráfica do sequenciamento de atividades que que expressa, de forma clara e objetiva, a estrutura e o funcionamento do que é chamado de processos. Por outro lado, mapeamento de processos está relacionado a um esboço do fluxo de atividades (BUENO, 2023).

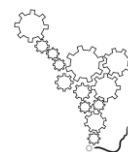
Segundo Giuzio (2020) o mapeamento de processos tem suas origens nos estudos realizados por Taylor, no qual, buscava organizar múltiplas tarefas e processos por meio de representações gráficas, como fluxogramas, diagramas de cadeia de valor e movimento, visando identificar os melhores métodos para execução das atividades e provendo uma organização mais eficiente do trabalho.

Mapeamento de processos é compreendido como uma prática voltada ao levantamento, identificação e descrição dos processos de uma organização. Mais do que uma ferramenta operacional, trata-se de um instrumento gerencial, que viabiliza o entendimento, a análise crítica e a melhoria continua dos processos existências. A partir dessas análises, é possível identificar falhas, reduzir custos operacionais relacionados a produtos e serviços (GIUZIO, 2020).

2.1.5.1 *Classificação das técnicas Ferramentas de Mapeamento de processos*

As abordagens utilizadas no mapeamento de processos podem ser classificadas em notações e técnicas, cada uma com uma função específica dentro da modelagem e análise de processos organizacionais. As notações são linguagens visuais padronizadas utilizadas para representar graficamente os processos (TONIAL, 2023). Dentre elas, destacam-se duas:

- **BPMN (*Business Process Model and Notation*):** Utiliza símbolos padronizados para representar eventos, atividades, decisões, fluxos de sequência e responsabilidades, sendo ideal para processos mais complexos;



- **Fluxograma:** Possui um conjunto simples de símbolos, não padronizadas, todavia, permite o rápido entendimento do fluxo.

Quanto às técnicas de modelagem, Tonial (2023) relata que existe uma ampla gama métodos que auxiliam na organização e análise dos processos. Dentre as diversas técnicas, a autora destaca três:

- **SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*):** Oferece uma visão macro do processo, destacando fornecedores, entradas, etapas do processo, clientes e saídas.
- **Cadeia de valor:** Tem como foco estratégico identificar como os macroprocessos organizacionais contribuem para a geração de valor ao cliente final.
- **BPEL (*Business Process Execution Language*):** Representa processos executáveis na Web, utilizando linguagem programação XML.

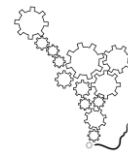
Assim como existem diversos métodos de modelagem, há também uma ampla variedade de ferramentas de apoio, que desempenham um papel fundamental na construção, registro e compartilhamento dos modelos de processos. Essas ferramentas podem variar desde recursos físicos, como quadros brancos, flipcharts e post-its — utilizados em workshops e dinâmicas presenciais — até ferramentas digitais, como softwares especializados em modelagem de processos. Entre os mais utilizados estão o Bizagi, Visio e Lucidchart, que oferecem funcionalidades para criar, simular e documentar fluxos de forma prática e eficiente (TONIAL, 2023).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Este artigo tem como objetivo otimizar o processo de manuseio e alocação de produtos acabados em uma empresa localizada no polo industrial de Manaus. Os produtos são armazenados em caixas de Polionda, que são classificadas nas categorias A, B e C, com variações na quantidade de itens alocados em cada modelo de caixa.

Atualmente, o processo é realizado por três operadores que, de forma manual, alocam os produtos nas caixas de acordo com a demanda diária, a qual varia conforme os tipos de produtos. Uma vez que a quantidade estipulada é atingida, os operadores transportam as caixas



para um estoque intermediário. Em seguida, outro operador retira as caixas deste estoque e as desloca até o estoque de expedição para envio.

Ao analisar o processo atual de movimentação de produtos acabados, foram identificados diversos desafios que impactam a eficiência operacional, a segurança e a qualidade dos resultados. Estes desafios estão relacionados às limitações do processo manual, à variabilidade da demanda e às características específicas dos produtos e caixas utilizadas. Abaixo, detalhamos os principais pontos:

1. **Gargalos no fluxo produtivo:** O processo manual apresenta gargalos importantes, especialmente durante o transporte e organização de produtos no estoque intermediário e no estoque de envio. A movimentação de caixas depende diretamente da disponibilidade e eficiência dos operadores, resultando em atrasos e aumento do tempo de ciclo nos períodos de maior demanda.
2. **Esforço repetitivo e riscos ergonômicos:** Os operadores realizam atividades que envolvem levantamento e transporte de caixas de diferentes pesos e tamanhos. Essa repetitividade aumenta a probabilidade de ocorrência de problemas ergonômicos.
3. **Gestão de rastreabilidade do produto:** Existe a possibilidade de os operadores alocarem caixas nas prateleiras erradas. Essa falha de alocação pode causar desorganização no estoque, atrasos na localização dos produtos e impactos no fluxo produtivo, especialmente quando o princípio FIFO (First In, First Out) não é seguido corretamente.
4. **Falta de monitoramento em tempo real:** O processo atual não possui ferramentas para monitorar, em tempo real, o progresso das atividades ou para gerar indicadores de desempenho. A ausência de dados centralizados dificulta a análise de eficiência, a detecção de gargalos e a tomada de decisões estratégicas.

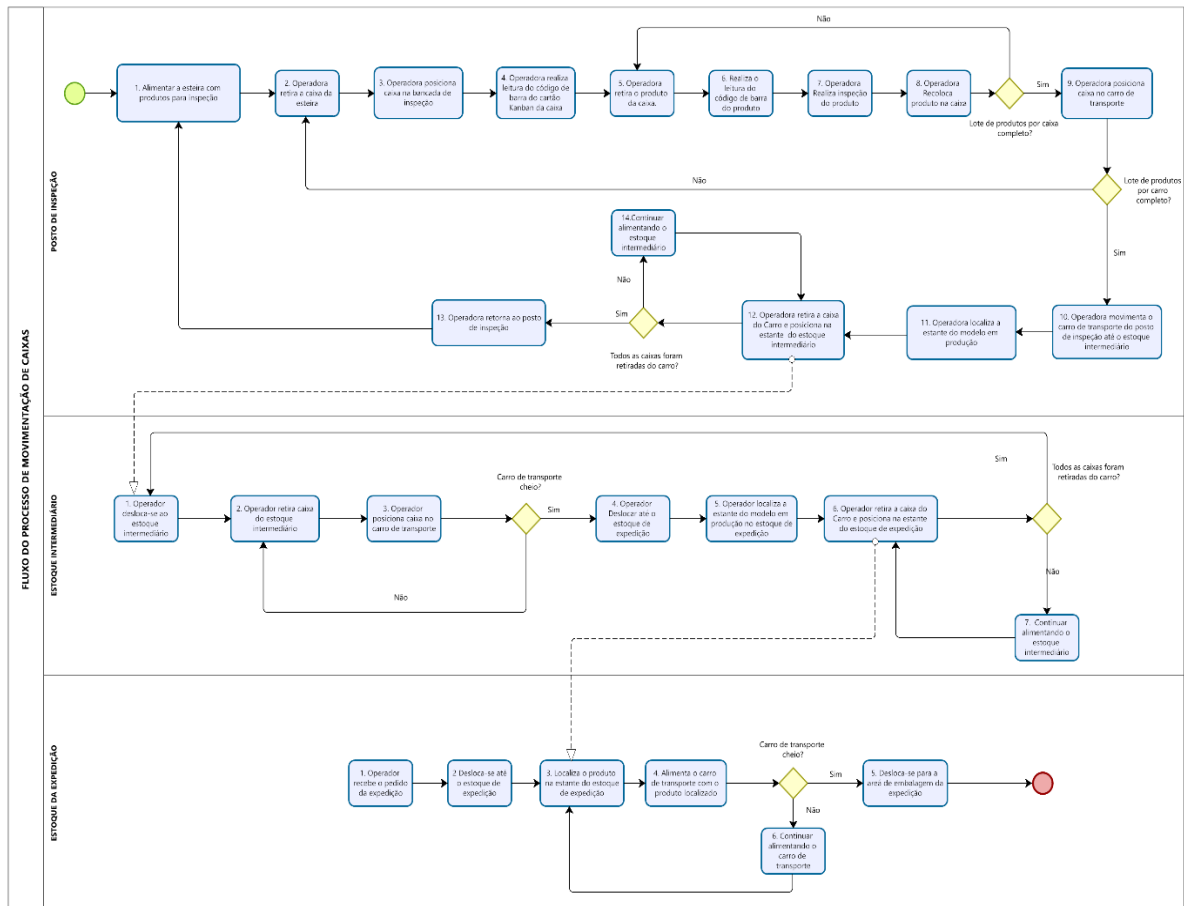
Preocupada com a falta de controle e monitoramento da movimentação dos produtos, a empresa em estudo tem investido em melhorias significativas, adotando os pilares da Indústria 4.0 para otimizar seus processos.

3.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO



Com base nas informações fornecidas pelo representante da empresa em estudo e observações feitas durante a produção, foi elaborado o fluxograma 1, evidenciando as etapas do processo de movimentação de produtos acabados.

Figura 1: Fluxograma do processo atual



FONTE: Os autores (2025)

O fluxograma foi dividido em três partes: a primeira parte corresponde ao posto de inspeção de produtos acabados; a segunda parte refere-se ao armazenamento dos produtos no buffer de expedição, denominado “Ponto A”; e a terceira parte abrange o estoque de expedição, conhecido como “Ponto B”. Após a coleta de dados, o processo foi segmentado em etapas lógicas, organizadas de acordo com a sequência natural do fluxo. Para a criação do fluxograma, utilizou-se a ferramenta Bizagi, aplicando símbolos padronizados: retângulos para atividades e setas para representar o fluxo

3.3 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA

3.3.1 Desenvolvimento da Solução

Após o mapeamento do processo, desenvolveu-se uma solução que integra robôs autônomos móveis (AMR), figura 2, com uma ferramenta computacional para a gestão e monitoramento inteligente em tempo real dos trajetos e cargas transportadas em um ambiente específico da indústria.

Devido ao acordo de confidencialidade da empresa em estudo, a presente ilustração abaixo retrata de forma análoga, o funcionamento do processo automatizado.

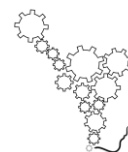
Figura 2: AMRs



FONTE: Cestek Automation (2025)

Vale destacar que a escolha do AMR utilizado na solução baseou-se em sua capacidade de operar de forma autônoma e segura no ambiente fabril. Alinhado às diretrizes da empresa em estudo e aos requisitos da norma ISO 3691-4:2020, o equipamento selecionado atende aos critérios de segurança estabelecidos para robôs móveis industriais.

Dentre os modelos disponíveis, foi escolhido o LD-90, da OMRON, por apresentar sensores avançados para detecção de obstáculos, sistemas de frenagem eficientes e protocolos de emergência que reduzem significativamente os riscos operacionais, garantindo uma operação segura e confiável.



3.3.2 Descrição do processo automatizado

1. O processo inicia com a chegada de caixas de uma única família de produtos à estante do Ponto A;
2. O operador posiciona cada caixa individualmente em frente ao leitor de código de barras para registrar sua entrada no sistema interno;
3. Após a leitura do código, a caixa é inserida na estante do Ponto A, onde se desloca até o final do sistema. Sensores monitoram continuamente a movimentação das caixas, emitindo alertas quando a capacidade da estante se aproxima do limite;
4. Quando há pelo menos duas caixas na estante do Ponto A, um comando é enviado para que o AMR se desloque até o local e realize a coleta;
5. Após a coleta, o AMR transporta as caixas até o Ponto B, onde um mecanismo automatizado as insere na estante. As caixas avançam ao longo da estrutura até a extremidade oposta, onde o operador realiza a retirada.

4 DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE CARGA

Para o desenvolvimento de uma solução mais assertiva e que trouxesse segurança e qualidade no transporte dos outros processados, foi realizada uma análise de carga, com o objetivo de avaliar a capacidade das estantes e do AMR diante das demandas do processo, levando em conta o peso das caixas, quantidade movimentada e a distribuição de carga ao longo do fluxo operacional.

Para os modelos de produtos alocados na caixa A, foram analisadas 593 amostras, abrangendo diferentes classes de produtos. A partir dessa análise, foi possível categorizar os pesos totais por classe de família, identificando tanto os limites máximos quanto mínimos de carga. Com base nos dados obtidos, determinou-se também a variação de peso entre as caixas, o que permitiu uma compreensão mais precisa das exigências de transporte em termos de capacidade de carga.

Dessa forma, a Tabela 1 apresenta os valores de carga máxima e mínima para a Caixa A, onde a carga máxima registrada foi de 6,66 kg, enquanto a carga mínima foi de 5,826 kg.

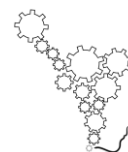


Tabela 1: Carga máxima e mínima da caixa A

Caixa A		
	Família de Produto	Carga (kg)
Mais pesado	1	6,66
Mais leve	2	5,826

FONTE: Autor (2025)

Para os produtos transportados na Caixa B, foram analisadas 46 amostras, resultando nos seguintes valores: a carga máxima registrada foi de 4,307 kg, enquanto a carga mínima foi de 3,671 kg, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Carga máxima e mínima da caixa B

Caixa B		
	Família de Produto	Carga (kg)
Mais pesado	3	4,307
Mais leve	4	3,671

FONTE: Autor (2025)

Já para os produtos transportados na Caixa C, foram analisadas duas amostras, onde a carga máxima identificada foi de 6,22 kg e a carga mínima de 5,143 kg, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Tabela 2: Carga máxima e mínima da caixa C

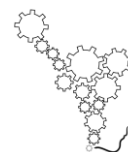
Caixa C		
	Família de Produto	Carga (kg)
Mais pesado	5	6,22
Mais leve	6	5,143

FONTE: Autor (2025)

4.2 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DO TAKT TIME E IMPACTO DA DISTÂNCIA NO FLUXO DE PRODUÇÃO

Sabe-se que o foco principal da solução proposta é a otimização do fluxo de entrega de produtos acabados. Para garantir que o AMR atenda à demanda de forma eficiente, foi realizada uma avaliação detalhada das previsões do takt time, figura 3, e do impacto das distâncias percorridas no fluxo de produção. O objetivo desta análise foi verificar a capacidade do AMR em manter a cadência de produção estabelecida pelo takt time, levando em consideração o tempo necessário para o transporte dos produtos entre as diferentes etapas do processo.

Inicialmente, calculou-se o takt time por unidade com base nos dados fornecidos pela empresa em estudo. Esses dados correspondem à produção de um único volume, porém, devido

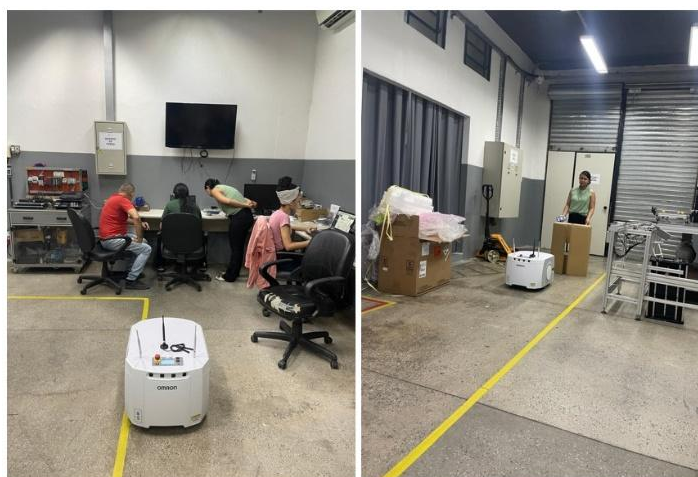


à necessidade de adaptação ao lote movimentado no projeto, foram necessários realizar alguns ajustes, sendo considerado a caixa com menor tempo de execução.

Com a chegada do Robô Móvel Autônomo (AMR) ao instituto, e com o suporte da equipe de programação, foi estimada a velocidade do robô em um percurso de 10 metros. Esse dado foi crucial para a análise, pois permitiu calcular o tempo de deslocamento do AMR. Vale ressaltar que, embora a velocidade máxima do AMR seja de 1800 mm/s, a empresa em estudo segue rigorosamente as diretrizes estabelecidas pela ISO 3691-4:2020. Essa norma determina que, em áreas onde há interação com operadores, a velocidade do robô deve ser limitada para minimizar riscos, não podendo ultrapassar 1200 mm/s. dessa forma, os testes em laboratório foram prolongados com uma velocidade de 1000 mm/s, garantindo conformidade com a exigência de segurança e a validação do desempenho do AMR em condições controladas.

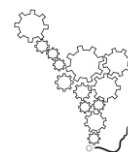
Após determinar a velocidade e a distância, realizou-se a cronometragem do tempo que o AMR levou para percorrer os 10 metros. Com esses dados, foi realizada a análise do tempo do percurso em relação ao takt time estipulado pela empresa em estudo.

Figura 3: Viabilidade do Takt Time e Impacto da Distância no Fluxo de Produção



FONTE: Os Autores (2025)

A Tabela 4 apresenta a análise do tempo operação do AMR em diferentes distâncias percorridas, considerando a movimentação de caixa com menor tempo de ciclo (Caixa A). O *takt time* considerado para a produção de duas unidades foi de 207,6 segundos para movimentação de duas caixas. A análise inclui o tempo de carga, deslocamento de ida e volta,



e descarga, totalizando o tempo de operação do AMR, além de calcular o tempo de ociosidade restante dentro do *takt time* disponível.

Tabela 4: Análise do tempo de operação e ociosidade do AMR

Distância (m)	T. de operação (s)	T. de ociosidade (s)
10	80	127,60
50	160	47,60
60	180	27,60
70	200	7,60

FONTE: Autor (2025)

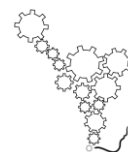
A análise revelou que, ao aumentar a distância de movimentação para 60 metros ou mais, ocorre um impacto significativo no tempo de ociosidade do AMR. Para alguns produtos da caixa A, por exemplo, a ociosidade do robô cai para apenas 27,60 segundos. Este tempo limitado de ociosidade compromete a capacidade de realizar ciclos de deslocamento e pode afetar o ritmo de produção.

Portanto, para garantir que o tempo de ociosidade da AMR seja suficiente para a execução das atividades de inspeção e para evitar a interrupção do ritmo de produção, recomenda-se limitar a distância de entrega dos produtos para cerca de 50 metros, especialmente para os produtos grande parte dos produtos alocados na caixa A. Essa distância garante um tempo de ociosidade adequado, garantindo que a frequência de produção seja mantida sem prejudicar a eficiência e a continuidade do fluxo de trabalho.

Com base nos dados analisados, foi possível concluir que o *takt time* pode ser atendido de forma eficiente dentro dos limites de distância analisada. No entanto, é essencial considerar a distância percorrida pelos produtos no processo, uma vez que distâncias superiores a 50 metros podem comprometer o tempo de ociosidade necessário para manter a produção fluindo de forma contínua e sem gargalos.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo realizar o estudo para a implementação de AMRs em um ambiente industrial designado para o transporte de produtos acabados, no qual, a solução demonstrou ser eficaz para a otimização do fluxo de movimentação de produtos, capaz de reduzir os esforços manuais e aprimorar a rastreabilidade logística de produtos.



A análise de carga em conjunto com a avaliação de viabilidade do takt time, confirmou que o AMR atende aos requisitos da empresa em estudo sem comprometer a cadência da produção. Além disso, a adequação da solução às diretrizes da ISO 3691-4, estabelece que a operação ocorra dentro dos padrões de segurança, minimizando riscos e promovendo um ambiente fabril mais seguro e eficiente.

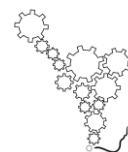
Os testes em laboratório, validaram o desempenho do AMR de atuar dentro dos limites de velocidade seguros. Outro fator que também pôde ser observado, é que a otimização das distancias percorridas é essencial para manter a eficiência do fluxo produtivo. Com isso, a solução proposta, além de aprimorar o processo de transporte de produtos acabados tornando um processo mais eficiente, também estabelece um modelo escalável e replicável para futuras aplicações na indústria, contribuindo para uma operação mais inteligente, automatizada e alinhada às tendências da manufatura avançada.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3691-4:2020 – Veículos industriais – Requisitos de segurança e verificação – Parte 4: Veículos industriais sem condutor e seus sistemas. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- BAROLLO, Bruna; FREITAS, Rodrigo. Uso das ferramentas da indústria 4.0 na implementação da gestão por competências: uma análise bibliométrica sobre os impactos no processo. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i3.37971>
- BATISTA, João. et al. Logística 4.0: Perspectivas da Aplicação de Inteligência Artificial na Logística Interna. Foz do Iguaçu, Paraná, 2021.
- BITTENCOURT, Leide, et al. Utilização das ferramentas da indústria 4.0 para a prototipagem no setor de vestuário, Florianópolis, 2021.
- BUENO, Renato. et al. REVISÃO SISTEMÁTICA: Mapeamento de Processos e BPM em Organizações. Minas Gerais, 2023.
- CORREIA, Ian, et al. A Logística Da Gestão De Estoque De Uma Empresa De Materiais Elétricos Do Interior De Minas Gerais. *Revista Eixos Tech*, 2023.
- FU, K. S.; GONZALEZ, Rafael C.; LEE, C. S. G. *Robotics: control, sensing, vision, and intelligence*. New York: McGraw-Hill, 1987.
- GIUZIO, Natalia. Proposta de Mapeamento de Padronização de Processos no Departamento de Engenharia de uma Empresa do Setor Elétrico. Londrina-PR, 2023.
- GOUDARD, Yasmin. et al. Atributos de fatores Humanos na Industria 4.0. Laboratório Aberto de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2025.



www.relainep.ufpr.br



- INTEL CORPORATION. *Autonomous Mobile Robots (AMRs) Overview*. Disponível em: <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/robotics/autonomous-mobile-robots/overview.html>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- MECALUX BRASIL. *AMR – Robôs móveis autônomos*. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/armazens-automaticos/amr-robos-moveis-autonomos>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- MELO. Estudo Para Implementação De Sistema Robótico Móvel Em Ambiente Acadêmico E Industrial. Instituto Superior de Engenharia Politécnica de Coimbra. Coimbra, 2024. <http://hdl.handle.net/10400.26/54387>.
- NEIVA, Laédna. Et al. Indústria 4.0: Conceitos, Desafios e Expectativas. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 2020. <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>.
- OMRON Industrial Automation. *LD Series - Mobile Robots*. Disponível em: <https://industrial.omron.pt/pt/products/ld-series>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- OMRON Industrial Automation. *LD Platform User's Guide*. 1970-000 Rev. E. [S.l.]: [s.n.], [2021]. 142 p. Consulta na p. 10.
- PEREIRA, Flávio. Ergonomia e o Arranjo Físico Ideal para o Aumento da Produtividade e Saúde dos Trabalhadores no Setor Fabril. Divinópolis, 2022
- SILVA, Dayanne. Revisão Sistemática Sobre A Realidade Aumentada Aplicada No Processo De Manutenção Da Indústria Brasileira. Morrinhos-GO, 2025.
- SILVA, Igor. Reestruturação do Estoque Intermediário no processo de Produção de Luvas de Aço para o Setor de Óleo e Gás. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i3.41094>.
- TONIAL, Marina. Mapeamento de processos e indicadores de desempenho em uma empresa de Marketing digital. Porto Alegre, 2023.
- TEDGUE, Lorena. Armazenagem E A Movimentação De Materiais. *Revista de Empreendedorismo, Negócios e Inovação*, 2023. <https://doi.org/10.36942/reni.v8i1.640>.