

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE
LOGÍSTICA INTERNA DE UMA INDÚSTRIA

Ademir José Velicko

Passo Fundo

2022



CIP – Catalogação na Publicação

V437p Velicko, Ademir José
Projeto de um sistema automatizado de logística
interna de uma indústria [recurso eletrônico] /
Ademir José Velicko. – 2022.
4.2 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber.
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Processos de fabricação. 2. Automação
industrial. 3. Logística. 4. Metodologia de projeto.
I. Walber, Márcio, orientador. II. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

Ademir José Velicko

**PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE LOGÍSTICA
INTERNA DE UMA INDÚSTRIA**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2022

Ademir José Velicko

PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE LOGÍSTICA INTERNA DE UMA INDÚSTRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 17 de setembro de 2022.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Carlos Edmundo Abreu Lima Ipar
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Jakerson Ricardo Gevinski
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Erechim

Professor Doutor Wu Xiao Bing
Universidade de Passo Fundo

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Universidade de Passo Fundo e a empresa Cavaletti S/A por terem me agraciado com uma bolsa de estudos.

Agradeço a todo corpo docente da Universidade de Passo Fundo que sempre transmitiram seu saber com muito profissionalismo, em especial ao meu orientador, Professor Dr. Márcio Walber pelas valiosas contribuições realizadas durante o desenvolvimento deste projeto.

Gratidão à minha família, em especial aos meus pais Valdir e Ivone e a minha esposa Vanessa pelo apoio e incentivo. E também aos colegas de trabalho, em especial ao Jeferson e ao Jairo por estimular à busca por novos conhecimentos.

Enfim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que este estudo fosse realizado.

*“Estude, enquanto eles dormem,
Trabalhe enquanto eles se divertem,
Lute, enquanto eles descansam,
Depois viva o que eles sempre sonharam.”*

Will Smith

RESUMO

A aplicação de tecnologias para automatizar os processos logísticos internos de uma empresa é uma estratégia eficiente para reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade dos serviços, aumentar a eficiência global da instalação e conseqüentemente elevar o nível de competitividade no segmento de atuação por meio da agilidade nas entregas com alto padrão de excelência. Assim, o objetivo deste trabalho é a realização do projeto de um sistema logístico automatizado envolvendo a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos embalados a serem expedidos posteriormente em uma indústria moveleira, utilizando a metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005). Neste trabalho aplicou-se as quatro etapas desta metodologia, ou seja, o esclarecimento do projeto (Fase I), o projeto conceitual (Fase II), o projeto preliminar (Fase III) e o projeto detalhado (Fase IV). A aplicação desta metodologia permitiu elaborar a lista de requisitos, obter e avaliar as variantes de solução, detalhar a estrutura construtiva do sistema automatizado e apresentar o projeto detalhado de um sistema logístico automatizado baseado nas tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 que atendaram os requisitos estabelecidos para o projeto. O desempenho do projeto do sistema logístico foi avaliado através de simulação computacional no software Plant Simulation visando verificar o atendimento aos requisitos de projeto, determinar o número de transportadores e a capacidade do armazém. Após realizou-se uma comparação entre o sistema logístico projetado e o processo produtivo atual. Desta forma, através dos resultados da simulação computacional constatou-se que o projeto proposto possui grande potencial de contribuir com o crescimento da empresa, pois aumentará a capacidade logística interna e de armazenagem de produtos paletizados, haverá a eliminação da necessidade de colaboradores envolvidos nas atividades de transporte, localização e separação dos produtos para serem expedidos e principalmente promoverá alta eficiência na rastreabilidade dos produtos durante as operações logísticas.

Palavras-chave: Automação; Indústria 4.0; Logística 4.0; Metodologia de Projeto.

ABSTRACT

The application of technologies to automate a company's internal logistics processes is an efficient strategy to reduce operating costs, improve the quality of services, increase the overall efficiency of the installation and consequently raise the level of competitiveness in the operating segment through agility in deliveries with a high standard of excellence. Thus, the objective of this work is to carry out the design of an automated logistics system involving the movement, storage and management of packaged products to be shipped later in a furniture industry, using the project development methodology proposed by Pahl et al. (2005). In this work, the four stages of this methodology were applied, that is, the clarification of the project (Phase I), the conceptual project (Phase II), the preliminary project (Phase III) and the detailed project (Phase IV). The application of this methodology allowed the elaboration of a list of requirements, obtaining and evaluating the solution variants, detailing the constructive structure of the automated system and presenting the detailed project of an automated logistics system based on the technologies of Industry 4.0 and Logistics 4.0 that met the established requirements. for the project. The performance of the logistics system design was evaluated through computer simulation in the Plant Simulation software to verify the compliance with the design requirements, determine the number of conveyors and the warehouse capacity. After that, a comparison was made between the designed logistic system and the current production process. In this way, through the results of the computer simulation, it was found that the proposed project has great potential to contribute to the growth of the company, as it will increase the internal logistics capacity and storage of palletized products, eliminating the need for employees involved in the activities of transport, location and separation of products to be shipped and mainly will promote high efficiency in the traceability of products during logistical operations.

Keywords: Automation; Industry 4.0; Logistics 4.0; Project methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases da evolução industrial	21
Figura 2 - Conceitos da Indústria 4.0	22
Figura 3 - Ilustração de um centro logístico inteligente	27
Figura 4 - Robô de transporte inteligente da fábrica do BMW Group em Regensburg	28
Figura 5 - Trem de reboque autônomo utilizado na fábrica do BMW Group em Regensburg	29
Figura 6 - AGV empregado na empresa ThyssenKrupp.....	30
Figura 7 - Sistema de armazenagem automatizado instalado na empresa SMA Magnetics.....	31
Figura 8 - Exemplos de código de barras 1D	34
Figura 9 - Exemplos de código de barras 2D	34
Figura 10 - Aquisição automática de código de barras.....	35
Figura 11 - Esquema de funcionamento do sistema RFID	37
Figura 12 - Tipos de veículos autônomos guiados (AGV)	42
Figura 13 - Tipos de robôs móveis autônomos (AMR).....	43
Figura 14 - Sistema porta palete convencional.....	44
Figura 15 - Sistema de armazenagem <i>drive-in e drive-through</i>	45
Figura 16 - Sistema de armazenagem dinâmico	46
Figura 17 - Sistema base móvel de armazenagem.....	47
Figura 18 - Sistema de carro satélite de armazenagem	48
Figura 19 - Procedimento operacional do sistema de carro satélite de armazenagem	49
Figura 20 - Sistema de armazenagem automático	50
Figura 21 - Procedimento geral para o desenvolvimento do projeto.....	54
Figura 22 - Interface do software Tecnomatix Plant Simulation em um estudo de caso.....	56
Figura 23 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto baseado na metodologia de Pahl, et al. (2005)	60
Figura 24 - Trajetória dos produtos paletizados dos setores de montagem ao armazém.....	64
Figura 25 - Fluxograma das etapas do projeto conceitual	69
Figura 26 - Função global do sistema logístico automatizado	72
Figura 27 - Estrutura de funções do projeto	73
Figura 28 - Critérios de avaliação quantitativa das variantes de solução	89
Figura 29 - Desenho ilustrativo do projeto conceitual do sistema logístico automatizado	91
Figura 30 - Etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone.....	94
Figura 31 - Impressora de etiquetas de identificação CL4NX	95
Figura 32 - Impressão no verso da etiqueta de RFID	96
Figura 33 - Leitor de etiquetas RFID M-ID12L	97
Figura 34 - Suporte de fixação do leitor de etiquetas RFID M-ID12L	98
Figura 35 - Empilhadeira AMR AWT12ct	99
Figura 36 - Exemplo de armazém por porta palete convencional	101
Figura 37 - Componentes básicos de um sistema porta palete convencional.....	102
Figura 38 - Estrutura montante do porta palete	103
Figura 39 - Longarina do porta palete	104
Figura 40 - Trava de segurança das longarinas do porta palete.....	104
Figura 41 - União de montante do porta palete	105
Figura 42 - Chumbadores do tipo parabolts Pba 3/8" x 3"	105
Figura 43 - Proteções de coluna dos porta palete	106
Figura 44 - Proteções de montante dos porta palete.....	106
Figura 45 - Indicadores de seção dos porta palete.....	107
Figura 46 - Configuração do porta palete.....	108

Figura 47 - Tela principal do módulo <i>Enterprise</i> do software Senior WMS.....	110
Figura 48 - Fluxograma das etapas da simulação computacional	114
Figura 49 - Modelagem do processo de paletização das embalagens	116
Figura 50 - Modelagem do processo de transporte das embalagens	117
Figura 51 - Distribuição das prateleiras no armazém.....	121
Figura 52 - Altura máxima da paletização em cada nível do porta palete no armazém	123
Figura 53 - Distribuição das prateleiras com as duas configurações de montagem das alturas das longarinas	124
Figura 54 - Posição do leitor de etiquetas RFID nos setores de montagem	129
Figura 55 - Layout final das áreas de armazenagem, produtos separados e carregamento	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Embalagens utilizadas para acondicionar os produtos	63
Tabela 2 - Distância do setor de montagem até centro do armazém	65
Tabela 3 - Paletização de cada tipo de embalagem	115
Tabela 4 - Quantidade de paletes correspondentes a um dia de produção	120
Tabela 5 - Demanda diária de paletes por tipo de embalagem e suas respectivas alturas de paletização	122
Tabela 6 - Quantidade de paletes correspondentes a cada uma das faixas de alturas de armazenagem	123
Tabela 7 - Capacidade de estocagem de paletes por altura das embalagens paletizadas após a divisão do armazém	125
Tabela 8 - Avaliação dos transportadores em diferentes cenários	125
Tabela 9 - Tempo de movimentação dos paletes fora da jornada de trabalho da empresa	127
Tabela 10 - Tempo de movimentação dos paletes por meio dos transportadores atuais	127
Tabela 11 - Equipamentos e acessórios a serem utilizados na execução do projeto	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Explicação dos objetivos do trabalho.....	18
Quadro 2 - Faixa de frequência e aplicações do RFID.....	38
Quadro 3 - Aplicação da técnica do cenário no projeto do sistema logístico automatizado	66
Quadro 4 - Linha mestra do projeto do sistema logístico automatizado	66
Quadro 5 - Lista de requisitos do projeto	67
Quadro 6 - Aplicação da técnica de abstração	71
Quadro 7 - Matriz morfológica do projeto do sistema logístico automatizado	76
Quadro 8 - Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica do projeto	83
Quadro 9 - Princípios de soluções remanescentes e suas combinações após avaliação qualitativa	85
Quadro 10 - Avaliação qualitativa das variantes de solução do projeto	86
Quadro 11 - Princípios de soluções das variantes de solução remanescentes	87
Quadro 12 - Critérios de avaliação das variantes de solução	89
Quadro 13 - Avaliação quantitativa das variantes de solução	90
Quadro 14 - Características técnicas da etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone.....	94
Quadro 15 - Características técnicas da impressora CL4NX para etiquetas de identificação RFID	95
Quadro 16 - Características técnicas do leitor M-ID12L para etiquetas de identificação RFID	97
Quadro 17 - Características técnicas da empilhadeira AMR modelo AWT12ct	100
Quadro 18 - Configuração mínima de hardwares para o software Senior WMS	109
Quadro 19 - Descrição dos menus do módulo Enterprise do software Senior WMS	110
Quadro 20 - Objetivos da simulação computacional no projeto do sistema automatizado ...	113
Quadro 21 - Avaliação do atendimento da lista requisitos do projeto	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i> ou Veículo Autônomo Guiado
AMR	<i>Autonomous Mobile Robot</i> ou Robôs Móveis Autônomos
Auto ID	Identificação Automática
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
Code 128	Código de barras 128
Code 39	Código de barras 39
CPS	Sistemas Ciber-Físicos
EAN	<i>European Article Numbering</i> ou Numeração Europeia de Artigos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> ou Planejamento de Recursos Empresariais
FIFO	<i>First In, First Out</i>
HF	Alta frequência
Inlay	Etiqueta RFID
IoT	Internet das Coisas
LF	Baixa frequência
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> ou Detecção e Alcance da Luz
LIFO	<i>Last In, First Out</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> ou Sistema de Execução da Manufatura
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
RF	Radiofrequência
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> ou Identificação por Radiofrequência
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i> ou Localização e Mapeamento Simultâneos
TI	Tecnologias da Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UHF	Ultra alta frequência
UPC	<i>Universal Product Codes</i> ou Código de Produto Universal
WMS	<i>Warehouse Management System</i> ou Sistema de Gerenciamento de Armazém

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa.....	17
1.2	Objetivos do trabalho	17
1.2.1	Objetivo geral.....	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Indústria 4.0.....	20
2.2	Logística 4.0.....	23
2.3	Aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0	26
2.4	Sistemas de identificação de produtos	32
2.4.1	Código de barras.....	33
2.4.2	RFID - <i>Radio Frequency Identification</i>	35
2.5	Sistemas autônomos de movimentação de produtos	38
2.5.1	AGV - <i>Automated Guided Vehicle</i>	39
2.5.2	AMR - <i>Autonomous Mobile Robot</i>	42
2.6	Sistemas de armazenagem de paletes.....	43
2.6.1	Sistema porta palete convencional	44
2.6.2	Sistema <i>drive-in</i>	45
2.6.3	Sistema dinâmico	46
2.6.4	Sistema base móvel	47
2.6.5	Sistema de carro satélite	48
2.6.6	Sistema de armazenagem automático	49
2.7	WMS - <i>Warehouse Management System</i>	51
2.8	Metodologia de desenvolvimento de projeto	53
2.9	Tecnomatix Plant Simulation	55
2.10	Conclusão da revisão bibliográfica	58
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	60
3.1	Primeira fase: planejamento do produto e esclarecimento da tarefa.....	62
3.1.1	Técnica do cenário e da linha mestra	65
3.1.2	Estabelecimento dos requisitos de projeto	67
3.2	Segunda fase: projeto conceitual do sistema automatizado	69
3.2.1	Técnica da abstração	70
3.2.2	Decomposição da função global	71
3.2.3	Princípios de solução para as subfunções	75
3.2.4	Seleção de estruturas de funcionamento apropriadas.....	82
3.2.5	Avaliação das variantes de solução	86
3.2.6	Conceito do projeto	90
3.3	Terceira fase: Projeto preliminar do sistema automatizado	93
3.3.1	Elementos utilizados no sistema logístico automatizado	93
3.3.1.1	Etiqueta de identificação RFID	93
3.3.1.2	Impressora de etiquetas RFID	94
3.3.1.3	Leitor e antena de etiquetas RFID	96
3.3.1.4	Empilhadeira AMR.....	98
3.3.1.5	Porta palete convencional.....	101
3.3.1.6	Software de gerenciamento	108
3.3.2	Simulação computacional	113

3.3.3	Conclusão do desenvolvimento do projeto	118
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	120
4.1	Projeto detalhado.....	129
4.1.1	Avaliação do projeto em relação a lista de requisitos	131
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
5.1	Recomendação de trabalhos futuros.....	136
	REFERÊNCIAS	137

1 INTRODUÇÃO

A alta competitividade presente entre as empresas exige a busca contínua de melhorias para todos os setores, ao mesmo tempo em que os clientes necessitam de produtos cada vez melhores e com menores prazos de entrega. Neste contexto, as necessidades atuais propiciaram uma revolução tecnológica provocando o surgimento dos conceitos de Indústria 4.0 e Logística 4.0 (POLI; SAVIANI; JÚNIOR, 2018).

Segundo Fonseca (2018), a Indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização avançada; integração de processos de manufatura industrial e logística; uso de internet e objetos “inteligentes” (máquinas e produtos); e pela fusão dos mundos físico e virtual através da adoção de tecnologia de informação e comunicação. O autor destaca que a implementação eficaz da Indústria 4.0 proporciona ganhos de competitividade na empresa, aumentando a criação de valor e minimizando os riscos através da redução do ciclo de operação, rapidez na entrega e lançamento de novos produtos/serviços ao mercado, maior qualidade e customização de produto/serviço e envolvimento do consumidor de forma mais proativa e intensa.

Paralelamente ao desenvolvimento do conceito de Indústria 4.0 surgiu o conceito de Logística 4.0, ou seja, a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 na área de logística através do uso intensivo de tecnologia e automação (GLISTAU; MACHADO, 2019). Szlpska et al. (2019) conceituam Logística 4.0 como um conjunto de soluções que visam a melhorar os processos logísticos, potencializando os fluxos de materiais e informações, evitando erros e interrupções nos processos de transporte e armazenamento. Koman et al. (2019) afirmam também que a coleta de dados em tempo real fornece informações aos gestores, possibilitando uma tomada de decisão rápida e um melhor gerenciamento do empreendimento. De modo geral, o emprego das tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 proporcionam a redução dos custos de produção, aumentam a eficiência energética das instalações e a confiabilidade na execução das atividades, melhorando os níveis de produtividade e o desempenho global do sistema (GLISTAU; MACHADO, 2019).

Portanto, indústrias que atuam nos mais diversos segmentos, tais como a indústria moveleira estão buscando aplicar as tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 em seus processos produtivos visando atingirem altos padrões de competitividade e eficiência no seu segmento de atuação aliando alta qualidade e rapidez. Assim, este trabalho visa projetar um sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. Desta forma, o projeto contempla a escolha e detalhamento dos

equipamentos necessários, bem como as funcionalidades essenciais ao software de controle e gerenciamento do sistema.

1.1 Justificativa

Atualmente, a indústria moveleira do segmento de estofados deposita seus produtos prontos e embalados sobre paletes em uma área de armazenagem até o momento de estarem aptos para serem expedidos. O armazém é necessário em função do planejamento entre a produção e o carregamento possuir uma diferença de tempo de um dia útil para que todos os produtos de uma carga estejam prontos. Posteriormente, neste armazém os colaboradores realizam a localização e separação dos produtos que serão expedidos por meio da conferência das etiquetas de identificação fixadas sobre as embalagens. Devido este processo ser totalmente manual, os produtos são armazenados somente ao nível do piso e isto limita o aumento da produção. Além de haver dificuldade e demora na localização dos produtos, gerando movimentações desnecessárias e possibilitando a ocorrência de erros de identificação dos produtos com envio indevido ao cliente.

O transporte dos produtos paletizados de 5 setores de montagem distribuídos no layout da fábrica até o armazém e posteriormente do armazém até o local de produtos separados para o carregamento são realizados manualmente através de empilhadeiras elétricas e paleteiras manuais. Assim, em função destas atividades dependerem do fator humano para serem executadas ocorrem movimentações desnecessárias com geração de ineficiência ao processo.

Portanto, a indústria moveleira deseja melhorar a eficiência de seus processos logísticos internos de transporte, armazenagem e principalmente garantir a rastreabilidade dos produtos embalados de forma dinâmica e precisa através da utilização de sistemas automatizados. Tendo em vista que a implementação das tecnologias oriundas da Indústria 4.0 e da Logística 4.0 podem proporcionar vantagem competitiva as empresas em função de permitirem um aumento da eficiência na alocação de recursos, resposta rápida à demanda do mercado, baixa necessidade de mão de obra e redução de custos logísticos internos.

1.2 Objetivos do trabalho

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos que conduzirão o desenvolvimento deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o projeto de um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Aplicar uma metodologia de projeto para o desenvolvimento do sistema automatizado;
- b) Aplicar os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 para desenvolver o sistema;
- c) Aplicar a simulação computacional para avaliar o desempenho do sistema automatizado;
- d) Apresentar as melhorias obtidas com o sistema automatizado em relação ao processo utilizado atualmente.

Visando facilitar o entendimento, o Quadro 1 apresenta um breve detalhamento de cada objetivo proposto neste trabalho.

Quadro 1 - Explicação dos objetivos do trabalho

Objetivo	Explicação
Objetivo geral	Aplicar as ferramentas, equipamentos e recursos mais eficientes e autônomos disponíveis no mercado para desenvolver o projeto a fim de eliminar a necessidade direta da ação dos colaboradores para realizar as atividades de transporte, armazenagem, identificação e localização dos produtos.
Objetivo específico (a)	Aplicar as quatro fases da metodologia de desenvolvimento de projetos proposta por Pahl et al. (2005), para desenvolver o projeto que atenda a demanda produtiva e exigências dimensionais.
Objetivo específico (b)	Realizar um amplo levantamento das ferramentas e equipamentos com alta eficiência disponíveis no mercado que empreguem os conceitos da Indústria 4.0 para realizar os processos de movimentação, armazenagem, identificação e controle dos produtos.
Objetivo específico (c)	Realizar através do software Tecnomatix Plant Simulation a simulação do sistema produtivo projetado a fim de validar o atendimento dos requisitos de projeto, determinar a quantidade de transportadores autônomos e a quantidade mínima de posições de estocagem dos paletes no armazém.
Objetivo específico (d)	Realizar uma análise comparativa do cenário produtivo atual em relação ao sistema automatizado projetado, ou seja, apresentar os principais benefícios a serem obtidos com a implantação do sistema operacional autônomo que não requer a ação direta dos colaboradores para realizar as atividades em relação ao sistema operacional atual que possui forte dependência do trabalho dos colaboradores.

Fonte: Autor (2022)

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco tópicos principais com seus respectivos subcapítulos:

Capítulo 1 - Trata dos assuntos iniciais relacionados ao desenvolvimento deste trabalho, tais como justificativa, objetivos e metodologia.

Capítulo 2 - Contém a revisão bibliográfica dos conceitos e tecnologias utilizados na Indústria 4.0 e Logística 4.0, apresentando as principais tecnologias, ferramentas e equipamentos que podem ser aplicadas para desenvolver o sistema automatizado e análise dos princípios de funcionamento, estabelecendo as vantagens e desvantagens, relativas à eficiência, facilidade de implementação e integração de tecnologias.

Capítulo 3 - Apresenta a aplicação da metodologia de desenvolvimento de produtos proposta por Pahl, et al. (2005). Através das suas respectivas etapas é obtido o projeto conceitual do sistema automatizado e realizado a especificação técnica dos equipamentos e acessórios a serem utilizados na implantação do sistema logístico automatizado.

Capítulo 4 - Relata a análise e discussão dos resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto. A avaliação do desempenho do projeto do sistema automatizado é realizada através de simulação computacional no software Tecnomatix Plant Simulation da Siemens. A simulação computacional possibilita explorar as características operacionais de desempenho do sistema e realizar uma comparação das principais melhorias obtidas em relação ao cenário de produção atual da indústria moveleira.

Capítulo 5 - Expõe as considerações e conclusões finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

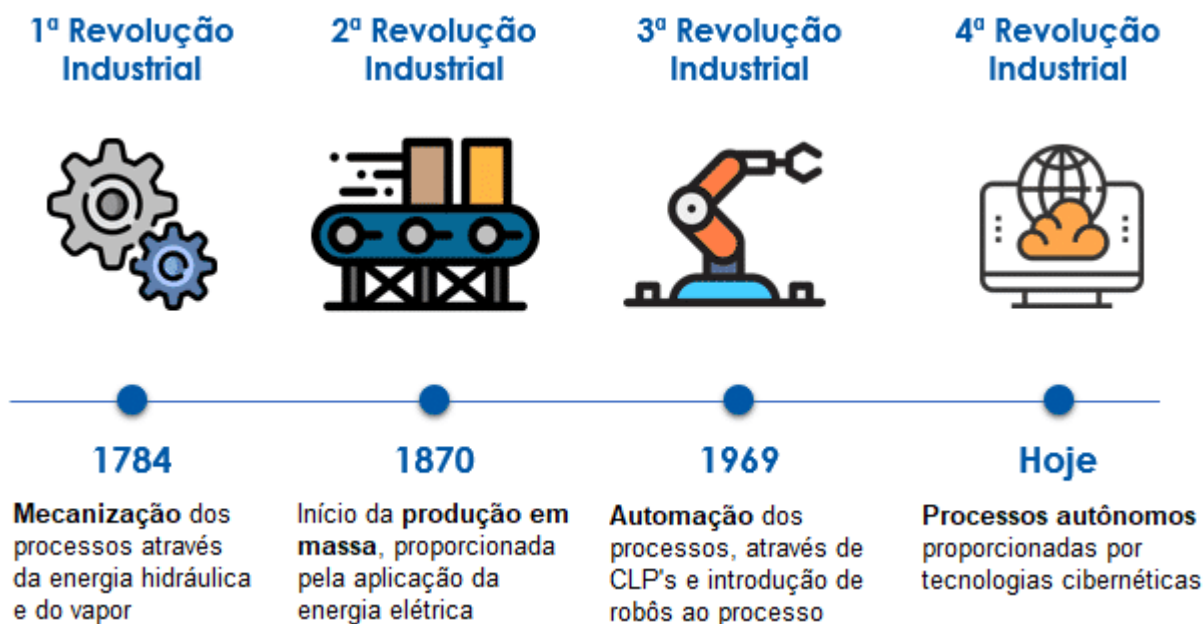
Este capítulo tem como objetivo apresentar o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do projeto de um sistema logístico automatizado aplicando as tecnologias, ferramentas e equipamentos que utilizem os conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0. Primeiramente são expostas as definições e conceitos relacionados à Indústria 4.0 e alguns casos de aplicações destas tecnologias nas indústrias. Em seguida são apresentados os sistemas de identificação de produtos baseados em códigos de barras e identificação por rádio frequência; os sistemas autônomos de movimentação de produtos baseados em veículos autônomos guiados e robôs móveis autônomos; os sistemas de armazenagem de paletes baseados no sistema porta palete convencional, sistema drive-in, sistema dinâmico, sistema base móvel, sistema carro satélite e sistema de armazenagem automática; e os sistemas de gerenciamento de armazém. Posteriormente é apresentada a metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005) que será utilizada para desenvolver o sistema automatizado e a ferramenta de simulação computacional Tecnomatix Plant Simulation.

2.1 Indústria 4.0

A revolução industrial iniciou com a introdução da manufatura mecânica movida a água e a vapor no final do século 18, sendo chamada de Indústria 1.0. A divisão do trabalho no início do século 20, o uso da eletricidade e da produção em massa caracterizaram a Indústria 2.0. E durante os anos 1970, a informatização e introdução de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) para automação deram início à era da Indústria 3.0 (DOYDUK; KARAGÖZ; KAYA, 2018). A Figura 1 ilustra as quatro fases da evolução industrial.

Atualmente encontra-se na quarta revolução industrial, ou seja, Indústria 4.0. O conceito denominado Indústria 4.0 surgiu pela primeira vez na Feira de Hannover na Alemanha em 2011. Foi apresentado por um grupo de cientistas e gerentes industriais alemães. O principal objetivo do conceito era o esforço da República Federal da Alemanha para garantir a competitividade global da economia alemã (BUKOVA et al. 2018). Na mesma época os Estados Unidos apresentaram a proposta da "Internet Industrial" e em 2015 o governo chinês desenvolveu o conceito de "China Made 2025". Ambos os conceitos propostos visam transformar as indústrias tradicionais por meio da internet. A Indústria 4.0 é liderada pela manufatura inteligente e possui como objetivo transformar a indústria pela combinação de tecnologias de comunicação da informação, sistema virtual ciberespaço e Sistemas Ciber-Físicos (WANG; HE; XU, 2017).

Figura 1 - Fases da evolução industrial

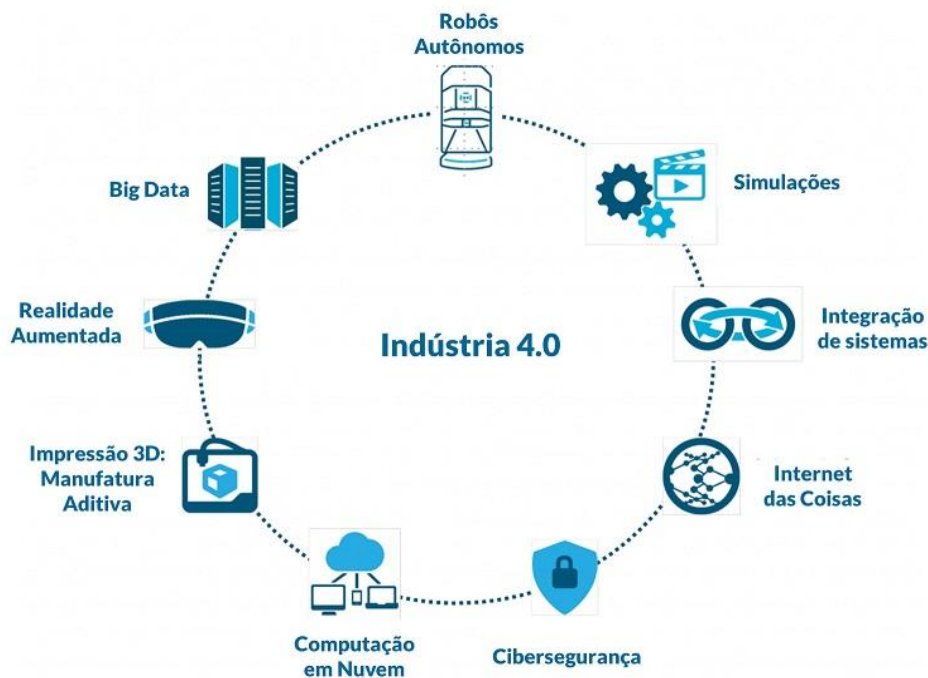


Fonte: Teles (2017)

De acordo com Fonseca (2018), Indústria 4.0 é baseada na utilização de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) e integração heterogênea de dados e conhecimento, tendo como principais características: digitalização, automação, otimização, customização e adaptação da produção, interação homem-máquina, serviços e negócios de valor agregado, troca e comunicação automática de dados. O autor afirma que a Indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização avançada e integração dos processos de manufatura industrial e logística através do uso da internet e objetos “inteligentes” (máquinas e produtos). A adoção das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) está mesclando os mundos físico e virtual, nos chamados CPS de produção que consistem em redes online de máquinas sociais, conectando as tecnologias de informação com componentes mecânicos e eletrônicos que se comunicam entre si através de uma rede. A Indústria 4.0 cria cadeias de maior valor agregado e muda os sistemas clássicos de organização humana e produtiva e os modelos de negócios organizacionais, impactando a sociedade em geral e o meio ambiente.

Assim, a Figura 2 apresenta estes principais conceitos e tecnologias empregados na Indústria 4.0.

Figura 2 - Conceitos da Indústria 4.0



Fonte: Lermensys (2019)

Da mesma forma, Mehami, Nawi e Zhong (2018) afirmam que a Indústria 4.0 combina diferentes tecnologias para melhorar ainda mais a organização e o gerenciamento de ambientes de manufatura. Seus conceitos podem ser aplicados às fábricas de manufatura atuais com a adição de tecnologias de internet. Essas tecnologias visam a melhorar a comunicação entre os sistemas e gerenciar melhor as instalações dentro das fábricas. Isso pode ser feito usando dados de sensores de sistemas do mundo real para criar uma contraparte virtual, permitindo um melhor monitoramento e controle dos sistemas. Este conceito é conhecido como Sistema Ciber-Físico (CPS). Pode ser necessário coletar dados de produtos manufaturados, portanto, alguma forma de conectividade deve ser adicionada aos produtos para a troca de dados. Este conceito é conhecido como Internet das Coisas (IoT).

Segundo Mehami, Nawi e Zhong (2018), uma implementação da Indústria 4.0 é chamada de fábrica inteligente. Dentro das fábricas inteligentes estão dispositivos e produtos inteligentes que demonstram os conceitos de IoT e CPS. Os dispositivos inteligentes têm processamento a bordo, armazenamento de dados, tecnologia de comunicação, sensores e atuadores. Produtos inteligentes podem se identificar, descrever seu status, história e processos futuros. A manufatura é, portanto, mais flexível e ágil em fábricas inteligentes, o que resulta em produtos mais individualizados e permitem uma estrutura modular para as fábricas.

Tang e Veelenturf (2019) afirmam que a Indústria 4.0 impulsionam as tecnologias

emergentes (ou tecnologias da Indústria 4.0), como Manufatura Aditiva, Robótica Avançada, Inteligência Artificial, Veículos Autônomos, Drones, Internet das Coisas. Isto deve-se em função da quarta revolução industrial fundamentar-se na conectividade e a comunicação entre os dispositivos e equipamentos. Essas tecnologias emergentes, juntamente com a grande quantidade de dados em tempo real transformarão as operações de manufatura e serviços ao longo de uma cadeia de suprimentos global e mudarão as interações entre humanos (consumidores e parceiros da cadeia de suprimentos) e máquinas.

Para Ghadge et al. (2020), a Indústria 4.0 engloba sistemas automatizados que permitem customização, agilidade e velocidade nas operações de manufatura e serviços, fornecendo dados de diversos dispositivos, sensores e ferramentas. As principais características da Indústria 4.0 são a colaboração e integração de sistemas, tanto horizontais quanto verticais. Na integração vertical, a TIC é integrada em diferentes níveis hierárquicos da organização, como o controle dos níveis de produção, operações e gerenciamento. Esta rede de integração vertical permite o uso de CPS para a produção conseguir responder à variação da demanda ou às flutuações e falhas nos níveis de estoque. Na integração horizontal, a TIC é usada para trocar informações entre os diferentes participantes. A implementação de aplicativos da Indústria 4.0 colabora para reduzir custos, melhorar a produtividade, eficiência e flexibilidade e aprimorar a personalização do produto.

2.2 Logística 4.0

Segundo Strandhagen et al. (2016), o objetivo fundamental da logística de produção é atingir a maior capacidade de entrega e confiabilidade aliada aos menores custos logísticos e de produção. Deste modo, a importância da logística de produção está baseada na sua capacidade de fornecer uma fonte de vantagem competitiva a empresa em termos de valor e custo, aumentando a eficiência e a produtividade.

Neste contexto, Poli, Saviani e Júnior (2018) afirmam que a Logística 4.0 corresponde à evolução aplicada na área de logística a partir dos desenvolvimentos em função do uso intensivo de tecnologias oriundas da Indústria 4.0, dispensando a utilização da mão-de-obra humana na maioria das ações e tornando as empresas automatizadas. Assim, para Glistau e Machado (2019) a Logística 4.0 significa a aplicação da Indústria 4.0 na área de logística. Segundo este autor, logística é um serviço que deve atender às necessidades do cliente e proteger a existência da empresa. Portanto, deve-se fazer as coisas certas de forma eficiente, buscando reduzir custos, aumentar a eficiência energética e o desempenho geral. Por exemplo,

através de meios de transporte autônomos como Veículo Autônomo Guiado (AGV) ou equipamento autônomo de manuseio de materiais (robôs móveis ou veículos de área não tripulados).

Em geral, Logística 4.0 é um sistema que usa mudanças tecnológicas para melhorar a flexibilidade e a satisfação do cliente, otimiza as atividades logísticas e se adapta às mudanças globais oriundas da Indústria 4.0 (GALINDO, 2016). Um dos principais objetivos da logística é aumentar o uso da capacidade e usar processos autônomos como alto nível de mobilidade, modularidade, compatibilidade, comunicação e informações em instalações de logística (SCHLOTT, 2017). Um sistema de Logística 4.0 eficiente e robusto necessita considerar o planejamento de recursos, sistemas de gerenciamento de armazenamento e transporte, sistemas de transporte inteligentes e segurança da informação (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017).

Szlapka et al. (2019) destaca que atualmente as empresas e sua logística de produção estão evoluindo e graças à quarta revolução industrial têm a oportunidade de potencializar seus fluxos de materiais e informações, bem como de facilitar seus negócios e digitalizar suas áreas físicas. Os elementos da Indústria 4.0 relacionados à gestão de materiais e fluxo de informações integrando complexas redes globais de abastecimento formam uma solução denominada Logística 4.0. Logística 4.0 é um conjunto de soluções que visa melhorar os processos logísticos, evitando erros e interrupções nos processos de transporte e armazenamento, graças à troca contínua de dados entre a equipe de gestão do sistema logístico. Para tanto, é necessário identificar e localizar o produto em tempo real.

De acordo com Yavas e Ozkan-Ozen (2020), Logística 4.0 é uma rede de toda a logística de produção por meio de Tecnologias da Informação (TI), onde sensores de alta tecnologia e robótica avançada são usados nas operações. As atividades de logística, como transporte, armazenamento, distribuição e serviços de informação são afetados por desenvolvimentos como revoluções industriais e novas tecnologias a fim de aumentar a sua eficiência. Desta forma, para Strandhagen et al. (2016) existem três elementos fundamentais da Indústria 4.0 relacionados à logística de produção:

a) Identificação Automática (Auto ID) e controle em tempo real: permite que informações precisas e oportunas sobre um item específico sejam armazenadas, recuperadas e comunicadas, essas informações podem ser usadas para auxiliar na tomada de decisão automatizada e nas funções de controle relevantes para aquele item. A Identificação por Radiofrequência (RFID) é um tipo de tecnologia Auto ID onde as comunicações por radiofrequência são usadas para identificar e rastrear objetos anexados com etiquetas RFID. A

tecnologia Auto ID e RFID tem sido usada industrialmente há muito tempo. Porém, usando a tecnologia de rede em conjunto com a tecnologia Auto ID, é possível disponibilizar em rede informações sobre os produtos de uma cadeia de suprimentos de uma unidade de produção, permitindo o controle em tempo real da produção.

b) Integração e utilização de sistemas de TI por meio de integração vertical: sistemas de informação como ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*) são comumente usados no apoio a tarefas e atividades de logística de produção. A integração vertical é uma das principais características da Indústria 4.0. Portanto, uma integração vertical desde o chão de fábrica, passando por diferentes subsistemas e até o sistema ERP, dará uma gestão holística e integrada da informação, que pode melhorar a logística de produção. A integração de sistemas de TI é necessária para atingir plenamente os benefícios potenciais da tecnologia Auto ID. O controle em tempo real da produção por meio de um chão de fábrica habilitado para RFID requer que as informações da identificação dos objetos sejam transmitidas para o sistema de TI de nível superior, seja um sistema MES ou um sistema ERP.

c) Automação e novas tecnologias de produção: a automação pode ser considerada uma das principais tendências e desenvolvimentos esperados dentro do conceito da Indústria 4.0. O aumento da automação e da robotização necessária para a Indústria 4.0 também proporcionará desenvolvimentos em como os humanos são integrados nas atividades de produção. Transporte, alimentação de linha e manuseio de material dentro de uma instalação também podem empregar soluções mais automatizadas e robotizadas. Um exemplo são os AGV para transporte de material em uma fábrica.

De acordo com Ghadge et al. (2020), os impactos da Indústria 4.0 podem ser sentidos em diferentes estágios de cadeias de abastecimento e também nas estratégias de gestão da cadeia de suprimentos. Por exemplo, previsão e planejamento mais preciso por meio do fluxo integrado e maior rastreabilidade de materiais e produtos, melhor desempenho do fornecedor devido ao compartilhamento e sincronização de informações em tempo real com fornecedores e sistemas inteligentes de armazenamento e roteamento de veículos. Os recursos habilitados para a Indústria 4.0, incluindo interconexões, monitoramento e controle em tempo real de materiais, equipamentos e parâmetros da cadeia de suprimentos ajudam a melhorar o desempenho geral da cadeia de valor e a reduzir os riscos.

A incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 também leva à transformação dos modelos de negócios e estratégias de gestão, pois permite o planejamento e controle em tempo real devido às tecnologias utilizadas fornecerem os dados em tempo real, permitindo que as empresas sejam flexíveis e ágeis para responder rapidamente às condições de mudança. Além

da eficiência da cadeia de suprimentos ser potencializada pela automação das tarefas físicas, planejamento, controle e processo de troca de informações. Essas tecnologias incluem robôs e guindastes de manuseio de materiais, sistemas automatizados de manuseio de paletes, rastreamento, veículos autônomos não tripulados, armazéns automatizados (GHADGE et al., 2020).

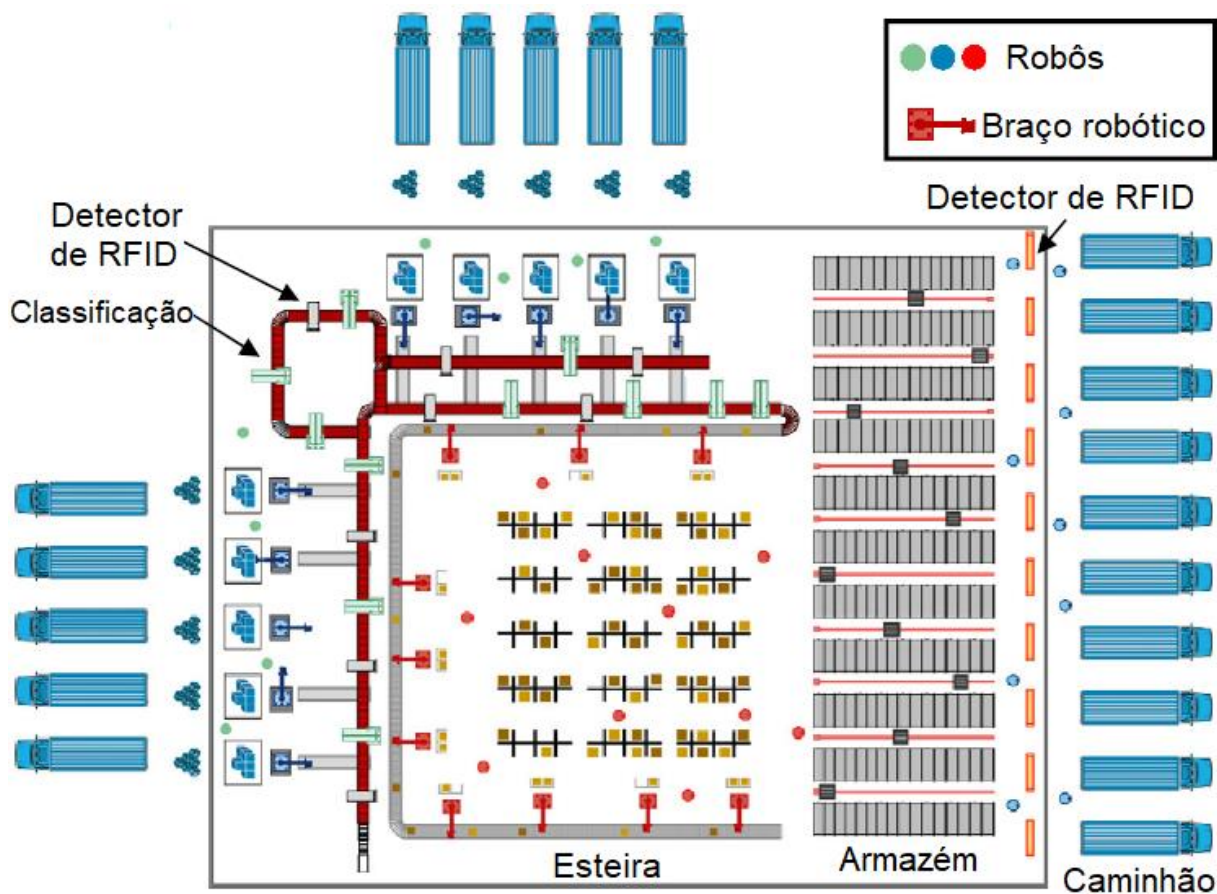
Lin e Yang (2018) destacam que os dispositivos IoT são implantados ao longo das linhas de produção/montagem para detectar o ambiente circundante e auxiliar na tomada de decisões ao obter respostas em tempo real sobre os processos de produção. Com a Indústria 4.0 as tecnologias inteligentes impulsionam a possibilidade de não haver mão de obra em todo o processo logístico, desde a armazenagem até o embarque dos produtos, de forma que todo o procedimento logístico se torne mais eficiente e inteligente.

2.3 Aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0

Tendo em vista os benefícios que a utilização das tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 e Logística 4.0 podem proporcionar as empresas, a seguir são apresentados exemplos de como estas tecnologias foram aplicadas nas indústrias. Inicialmente é apresentado o funcionamento de um centro logístico inteligente descrito por Lin e Yang (2018), conforme ilustrado na Figura 3.

Lin e Yang (2018) descrevem que os caminhões dos fornecedores entregam as cargas na área de recebimento e na sequência as cargas são descarregadas e movimentadas por robôs móveis para o espaço de armazenamento. A confirmação da quantidade de carga recebida de cada fornecedor ocorre através de uma porta de detecção de RFID. Os robôs classificam as cargas e transferem para um espaço de depósito. Instantaneamente os dados do estoque deste espaço são atualizados no sistema. Os robôs também extraem os produtos necessários deste espaço de depósito e movem para a área de separação, conforme os pedidos recebidos dos clientes. O melhor caminho de roteamento é selecionado por cada robô, evitando-se as colisões entre os robôs. Depois de receber a tarefa de selecionar um produto, o robô pode realizar a entrega do produto em uma estação de trabalho. Em seguida, o produto é recolhido e encaminhado para uma esteira. Ao longo da esteira, o produto recebe uma etiqueta e desloca-se para a área de classificação. Usando portas de detecção de RFID, a quantidade de produtos é confirmada. Após a classificação, os produtos são encaminhados para a área de expedição e os robôs realizam o transporte até aos caminhões que entregarão os produtos aos clientes.

Figura 3 - Ilustração de um centro logístico inteligente



Fonte: Adaptado de Lin e Yang (2018)

No centro de logística inteligente apresentado, Mikavica e Ljubisavljevic (2019) destacam que os recursos da nuvem são localizados e gerenciados de maneira centralizada. Se a área da fábrica for muito grande, a latência aumenta significativamente na comunicação entre vários sensores IoT e a nuvem centralizada. Assim, a computação em nuvem distribuída pode ser uma solução promissora para alta latência no sistema com milhares de dispositivos IoT em um sistema de computação em nuvem centralizado. Uma parte das tarefas de computação para operações no centro de logística pode ser concluída usando apenas informações locais de recursos de computação em nuvem próximos, em vez da nuvem centralizada. Assim, as tarefas podem ser concluídas de forma flexível e mais eficiente. Além disso, a implementação da computação em nuvem local e a integração com o ambiente de IoT podem levar a reduções no consumo de energia em mais de 40%.

Os autores destacam que no sistema de computação implantado em um centro de logística, dispositivos de borda são usados para transmissão de dados para dispositivos de nuvem local e fornecem informações em tempo real de AGVs e sobre suas trajetórias. Posteriormente, os dispositivos de nuvem local armazenam e processam temporariamente os

dados, enviam a decisão determinada de volta aos AGVs e encaminham os dados ao centro de nuvem para análise histórica e armazenamento de longo prazo. Em sistemas de logística, a implantação de computação em nuvem local pode melhorar a eficiência energética, reduzir a latência, reduzir custos e oferecer suporte à mobilidade. Além disso, a automação avançada dos sistemas de manufatura estará habilitada. A computação em nuvem local em sistemas de logística também contribui para a melhoria da qualidade do produto, eficiência da produção, monitoramento de condições e tomada de decisão.

Aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 também são encontradas nas fábricas da BMW Group e na empresa ThyssenKrupp. A BMW Group está cada vez mais contando com inovações nas áreas de digitalização e Indústria 4.0 em logística de produção. O foco está em aplicações com robôs logísticos, sistemas de transporte autônomo e projetos de digitalização para as cadeias de suprimentos em suas fábricas. Os robôs carregam contêineres com peso de até meia tonelada e os transportam de forma autônoma para onde as mercadorias precisam estar. Os robôs calculam a rota ideal de forma independente e se movem livremente pelo espaço (BMW GROUP, 2018). A Figura 4 apresenta um robô de transporte inteligente utilizado na fábrica do BMW Group em Regensburg.

Figura 4 - Robô de transporte inteligente da fábrica do BMW Group em Regensburg



Fonte: BMW Group (2018)

Os sistemas de transporte autônomo, como trens de reboque ou robôs de transporte

inteligentes são cada vez mais usados para transportar mercadorias dentro das áreas de produção. Para permitir que os trens de rebocadores também sejam usados para o sofisticado processo de fornecimento de linhas de montagem, a fábrica da BMW Group Dingolfing desenvolveu um kit de automação, que permite que os trens de rebocadores convencionais de qualquer marca já disponível sejam atualizados para trens de reboque autônomos. Os trens de rebocadores autônomos utilizam os sinais de laser para navegar de forma independente pelas áreas de produção (BMW GROUP, 2018). A Figura 5 apresenta um trem de reboque autônomo utilizado na fábrica do BMW Group em Regensburg.

Figura 5 - Trem de reboque autônomo utilizado na fábrica do BMW Group em Regensburg



Fonte: BMW Group (2018)

A equipe controla os processos de logística a partir de dispositivos móveis, sem a necessidade de papel através de tablets, smartphones, smartwatch, luvas com scanners e visores integrados (óculos de dados). Por exemplo, através de um smartwatch o colaborador tem acesso à informação de que os trens de reboque estão se aproximando do setor por meio de um alarme vibratório e por meio do toque no visor é possível ler a informação de qual container deve ser descarregado e também liberar o trem rebocador para continuar sua trajetória. As luvas com scanners são utilizadas para verificar informações dos containers de carga, como por exemplo a quantidade da carga, sendo exibido em um pequeno display que pode ser acoplado no braço (BMW GROUP, 2018).

A empresa ThyssenKrupp produz trilhos para elevadores na sua planta em Krimpen - Holanda. O departamento de produção de peças necessitava de flexibilidade e uma solução de alto desempenho para a movimentação interna de materiais para otimizar os processos de produção. O objetivo era sincronizar os processos de trabalho e minimizar os erros através da automação, ao mesmo tempo em que se reduziria a carga dos funcionários ao eliminar interrupções no trabalho devido ao transporte interno. O espaço restrito foi levado em consideração, assim como a opção de rastrear os materiais dentro do processo de produção (JUNGHEINRICH, 2020).

Portanto, foi implementado um sistema de veículo automatizado - AGV. O equipamento empregado utiliza a navegação por triangulação à laser para realizar o transporte dos materiais entre as 28 estações de trabalho. O software de logística monitora a sequência de pedidos que são processados de forma autônoma e para evitar ferimentos ou danos, a empilhadeira está equipada com vários sensores de segurança. Assim, o equipamento interrompe o seu movimento de forma instantânea ao perceber algum obstáculo no seu trajeto e continuará sua movimentação após a desobstrução (JUNGHEINRICH, 2020). A Figura 6 apresenta o AGV empregado na empresa ThyssenKrupp que possui uma capacidade de carga de até 1500 kg e de elevação de 6,0 m.

Figura 6 - AGV empregado na empresa ThyssenKrupp



Fonte: Jungheinrich (2020)

Em relação a sistemas de armazenagem automatizados tem-se o exemplo da empresa

SMA Magnetics situada na Polônia que produz componentes eletromagnéticos utilizados em uma grande variedade de indústrias, tais como a energética, automotiva ou de transporte. O objetivo desse armazém é enfrentar o aumento da produção devido as previsões de crescimento da empresa. O armazém abastece diariamente a produção com as matérias-primas necessárias e também recebe os produtos acabados prontos para serem distribuídos (MECALUX, 2019). A Figura 7 apresenta o sistema de armazenagem automatizado instalado na empresa SMA Magnetics.

Figura 7 - Sistema de armazenagem automatizado instalado na empresa SMA Magnetics



Fonte: Mecalux (2019)

Foram instalados três corredores com estantes de profundidade simples em cada lado que oferecem no total uma capacidade para 791 paletes. Sendo duas estantes de 10 m de altura e uma de 7,7 m. Um transelevador trilateral em cada corredor é encarregado de efetuar a entrada e saída dos paletes a partir de suas localizações. Os transelevadores trilaterais dispõem de um cabeçote giratório que permite coletar e deixar os paletes em três posições: uma frontal e duas laterais. Os transportadores se deslocam a uma velocidade de 100 m/min (MECALUX, 2019).

A gestão do armazém é automática através do Easy WMS, o sistema de gestão de armazéns está preparado para atribuir uma localização à mercadoria considerando suas

características e nível de demanda. Através desse software a empresa identifica em tempo real o estado de seu estoque, permitindo oferecer um serviço eficiente aos clientes, com entregas pontuais e sem erros. Segundo a SMA Magnetics, em função do armazém ser totalmente automático, permite operar sem interrupção durante 24 horas por dia, proporcionando como benefícios a redução de custos de pessoal, maior disponibilidade aproveitamento do espaço e produtividade (MECALUX, 2019).

A partir das informações e exemplos práticos apresentados, a seguir serão detalhados as tecnologias, ferramentas e equipamentos que utilizem os conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0 com potencial de serem aplicados no desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado.

2.4 Sistemas de identificação de produtos

As tecnologias de identificação industrial têm um papel importante no que diz respeito à integridade e confiabilidade dos dados na indústria, pois uma melhor qualidade dos dados permite otimizar o processo de tomada de decisão e conseqüentemente as ações. A identificação industrial proporciona economia operacional e melhora a eficiência, com impacto positivo sobre a transparência e confiança dos clientes e parceiros sobre os produtos (GLADYSZ et al., 2020).

Segundo Chen (2020), o desenvolvimento da área da informática e de rede proporcionaram mudanças nas formas de negócio, métodos de gestão e indicaram a direção para o desenvolvimento das empresas de manufatura. Por meio da tecnologia da informação, as empresas podem realizar o controle em tempo real do processo de produção, ajustar os planos de produção de acordo com as mudanças do mercado ou necessidades do cliente, melhorar a velocidade de resposta ao mercado, otimizar recursos de fabricação, melhorar a eficiência da produção, reduzir custos e melhorar a competitividade.

Chen (2020) afirma que a manufatura inteligente é o princípio fundamental da “Indústria 4.0” e a tecnologia IoT de manufatura é a base da manufatura inteligente, pois com o posicionamento em tempo real e a identificação do trabalho em andamento, é possível realizar o rastreamento dinâmico do produto em processo e coletar em tempo real os dados de produção, aumentando a transparência do processo de fabricação.

Neste sentido, a seguir são apresentadas as tecnologias de identificação mais empregadas nas empresas, ou seja, a identificação por código de barras e a identificação por RFID (*Radio Frequency Identification*).

2.4.1 Código de barras

Segundo Liu, Bi e Liu (2020), a evolução contínua da ciência e da tecnologia proporcionaram a utilização da tecnologia de código de barras globalmente em muitos segmentos. Esta evolução deve-se as várias pesquisas realizadas nos últimos anos com esta tecnologia que possibilitaram melhorar os algoritmos de aquisição e reconhecimento de código de barras, viabilizando a implementação em sistemas automáticos que permitem uma aquisição rápida e precisa das informações.

O código de barras é um grupo de imagens com largura de banda e refletividade diferentes que são combinadas de acordo com certas regras de codificação para representar um grupo de dados e símbolos. A tecnologia do código de barras é uma tecnologia que combina codificação, impressão, reconhecimento, aquisição e processamento de dados desenvolvida com base na informática e na tecnologia da informação. Atualmente, a tecnologia de código de barras é amplamente usada na fabricação, comércio, indústria financeira e indústria de logística. Essa tecnologia não só tem baixo custo e forte praticidade, mas também é uma tecnologia de identificação automática. A introdução da tecnologia de código de barras em vários campos de sistemas pode ajudar as empresas a melhorar a eficiência do gerenciamento (LIU; BI; LIU, 2020).

A tecnologia de código de barras possui vários formatos de código de barras e são classificados basicamente em código de barras unidimensional (1D), código de barras bidimensional (2D) e código de barras multidimensional (3D). O código de barras 1D contém informação somente em uma direção, sendo constituído através de barras paralelas verticais e possui uma capacidade de armazenagem de cerca de 25 caracteres. O código de barras 2D possui as informações contidas em duas direções, sendo a leitura feita em dois sentidos, com símbolos geralmente quadrados ou retangulares e que possuem elevada capacidade de armazenamento, cerca de 2000 caracteres. E o código de barras 3D é impresso como um código de barras bidimensional, mas gravado com diferentes alturas. Este tipo de código de barras utiliza a altura para transmitir informação de uma maneira semelhante à forma dos códigos de barras bidimensionais, porém utilizando a espessura e a distância. Estes códigos de barras exigem um leitor específico que permite detectar diferenças de altura do código de barras. (I9, 2020; CBBR, 2021).

A Figura 8 apresenta alguns tipos de códigos de barras 1D. Os códigos de barras EAN (*European Article Numbering*) podem codificar 8 ou 13 dígitos, respectivamente EAN-8 e EAN-13. O código de barras EAN-8 foi desenvolvido para uso em embalagens menores, onde

um código de barras EAN-13 seria muito grande. Todos os outros países, exceto os Estados Unidos, utilizam o código de barras EAN para identificação em produtos de varejo. Os Estados Unidos utilizam o código UPC (*Universal Product Codes*) para os mesmos fins, mas podendo codificar 8 ou 12 dígitos, respectivamente UPC-E e UPC-A. O código de barras 128 (Code 128) e o código de barras 39 (Code 39) são muito utilizados globalmente, pois possuem a possibilidade de utilizar números, letras e caracteres especiais. Sendo o Code 39 mais aplicados aos correios e o Code 128 mais aplicados em envios, embalagem e sistemas de entrega (CBBR, 2021).

Figura 8 - Exemplos de código de barras 1D



Fonte: CBBR (2021)

A Figura 9 apresenta os 3 tipos de códigos de barras 2D.

Figura 9 - Exemplos de código de barras 2D



Fonte: I9 (2020)

O código de barras QR Code é mais aplicado em marketing promocional e links de sites. O código de barras Data Matrix está sendo usado para codificar informações sobre o produto e o número de série na classificação elétrica, placas de circuito e outros itens. Os principais

setores de uso são soluções de rastreamento e também para casos de anti-falsificação no setor financeiro. O código de barras PDF417 é utilizado em rotulagem de materiais perigosos, armazenamento de especificações técnicas, dados de calibração em instrumentos e codificação de impressões digitais (I9, 2020).

A coleta das informações armazenadas nos códigos de barras deve ser realizada através de leitores do tipo scanner que utilizam um feixe de luz para captar as informações da etiqueta. Assim, qualquer obstáculo entre o código de barras e o leitor inviabiliza a coleta de informações. Atualmente as tecnologias de aquisição automática de código de barras fornecem muitas condições convenientes para a indústria de manufatura (LIU; BI; LIU, 2020). A Figura 10 apresenta um sistema de aquisição automática dos códigos de barras.

Figura 10 - Aquisição automática de código de barras



Fonte: Liu et al., 2020

Segundo Liu, Bi e Liu (2020), com os avanços da IoT, coletar os dados em tempo real que são gerados dentro das empresas podem fornecer vantagens competitivas e melhorar a eficiência produtiva. Principalmente quando combinado a outros sistemas de gestão, por exemplo aos sistemas ERP, pois garantem a precisão e pontualidade das informações.

2.4.2 RFID - *Radio Frequency Identification*

De acordo com Frankó, Vida e Varga (2020), as fábricas inteligentes da Indústria 4.0 necessitam da informação em tempo real de vários objetos, o que torna a identificação automática de fundamental importância. A tecnologia RFID por ser uma tecnologia de identificação dinâmica que permite a atualização de rótulos de leitura e gravação em oposição aos sistemas de código de barras que dependem de tecnologia estática sem possibilidade de atualização, assume uma posição privilegiada no contexto da Indústria 4.0.

Os sistemas RFID permitem a identificação automática e independente de objetos e pessoas, principalmente em ambientes internos. Essa tecnologia se baseia na comunicação entre tags e leitores através de antenas, que por meio de ondas de rádio enviam e recebem a informação (DENUWARA; MAIJALA; HAKOVIRTA, 2019).

As principais limitações da tecnologia RFID aparecem em restrições eletromagnéticas devido as propriedades de radiação das antenas e fenômenos de propagação (SKILJO et al., 2020). As propriedades de um RFID dependem principalmente da banda de frequência. Os sistemas RFID de alta frequência (HF) podem ser usados para ambientes compactos e médios (<30 cm), enquanto os sistemas RFID de ultra alta frequência (UHF) permitem a leitura em massa e para faixas consideravelmente mais altas (≈ 10 m), devido a velocidades de transmissão mais altas. As etiquetas RFID são etiquetas de identificação únicas que contêm dados que podem ser anexados a objetos. Uma etiqueta normalmente tem três componentes: um circuito integrado que armazena dados e decodifica/codifica sinais de radiofrequência, uma antena para receber e transmitir sinais e um terceiro sistema que é ativado por um sinal de leitor. Quando uma etiqueta passa nas proximidades do campo do leitor, sua antena armazena energia, permitindo que a etiqueta envie ondas de rádio (DOLGUI; PROTH, 2008).

Segundo Andrade, Figueiredo e Tlemçani (2021) e Neal et al. (2021), os tags podem ser agrupados em três categorias:

- **Tags passivas:** dependente do campo eletromagnético gerado pelo leitor RFID para ser ativado (menor custo);
- **Tags ativas:** possuir baterias embutidas que aumentam o alcance de todo o sistema, pois os tags não dependem do campo eletromagnético do leitor para serem ativados;
- **Tags semi-ativas:** essas tags possuem baterias, porém podem funcionar como tags passivos, permitindo a ativação sem uma fonte de alimentação interna.

Os tags podem ser usados para armazenamento de dados, principalmente os passivos, mas um problema é a quantidade limitada de memória disponível, por isso é muito comum registrar apenas o ID da tag no banco de dados e usá-lo como um ponteiro para acessar os dados desejados (LÓPEZ et al., 2018).

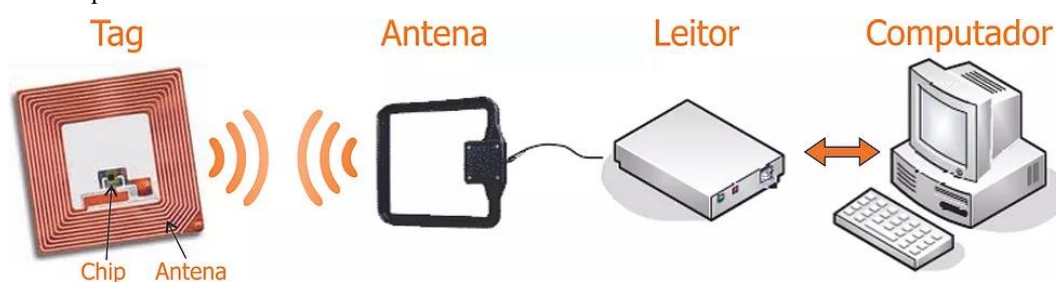
As etiquetas RFID de acordo com a aplicação podem ter múltiplas características físicas, sendo flexíveis ou rígidas, grandes ou pequenas, frágeis ou robustas. O desempenho da etiqueta depende das propriedades do produto marcado, uma vez que pode ser sólido, pó ou líquido, influenciando as propriedades dielétricas e de permissividade e, conseqüentemente, a faixa de leitura (KHAMLICHI et al., 2019).

Segundo López et al. (2018), o RFID está se tornando uma tecnologia chave na indústria

de logística e gestão, graças a características distintas, como a redução do custo das etiquetas RFID e a facilidade de implantação e integração das etiquetas RFID nos itens a serem rastreados. Em consequência, o RFID desempenha um papel fundamental na chamada fábrica digital ou Indústria 4.0, visando aumentar o nível de automatização dos processos industriais. Segundo o autor, os sistemas baseados em RFID UHF para aplicações de gerenciamento e rastreamento consistem em um conjunto de antenas UHF, um ou vários leitores RFID, um computador que gerencia os leitores RFID e as etiquetas RFID UHF anexadas aos itens a serem rastreados.

Neste sentido, a HerrTech (2015) afirma que um sistema básico de RFID possui três componentes: etiquetas, leitor e antenas. O leitor normalmente está conectado a um computador central ou outro equipamento que possua a inteligência necessária para processar os dados da etiqueta. O sistema RFID possui o seguinte funcionamento: um aparelho com função de leitura envia, por meio de uma antena, sinais de radiofrequência em busca de objetos a serem identificados. No momento em que um dos objetos é atingido por estas ondas, ocorre a comunicação e possibilita que os dados armazenados no objeto sejam recebidos pelo leitor. O equipamento de leitura trata a informação recebida e a envia ao computador. O elemento que permite a comunicação entre a etiqueta e o leitor é a antena, sendo que tanto a etiqueta quanto o leitor possuem uma antena. A Figura 11 apresenta o esquema de funcionamento do sistema RFID.

Figura 11 - Esquema de funcionamento do sistema RFID



Fonte: HerrTech (2015)

O RFID é diferenciado pelas frequências nas quais o sistema funciona. Geralmente, diferentes aplicativos são alocados para diferentes faixas de frequência. O Quadro 2 apresenta as faixas de frequência comumente usadas e as aplicações correspondentes.

Quadro 2 - Faixa de frequência e aplicações do RFID

Frequência	Alcance	Aplicações
125 - 134 KHz	Baixa frequência (LF)	Identificação de animais
13,52 MHz	Alta frequência (HF)	Acesso e segurança
433 - 956 MHz	Frequência ultra alta (UHF)	Logística
2,45 GHz	Frequência ultra alta (UHF)	Comunicação móvel
5,9 GHz	Frequência super alta	Sistema de transporte inteligente

Fonte: Adaptado de Andrade, Figueiredo e Tlemçani (2021)

Segundo Andrade, Figueiredo e Tlemçani (2021), as principais vantagens dos sistemas RFID em relação aos sistemas de identificação mais comumente usados (código de barras 1D e 2D) são:

- Redução drástica da carga de trabalho, pois enquanto os sistemas de código de barras só podem ler itens, um por um, os sistemas RFID permitem várias leituras de etiquetas;
- Os sistemas RFID permitem leituras em distâncias maiores (geralmente até 10 m), enquanto que no sistema por código de barras não pode haver obstáculos entre o leitor e o código de barras, ou seja, é necessário haver o “contato visual” entre o leitor e o código de barras, o que reduz significativamente a distância de leitura;
- Os sistemas RFID permitem ler e escrever novos dados, atualizando os dados armazenados. Os sistemas de código de barras só podem ler dados estáticos.

Segundo o autor, a principal desvantagens dos sistemas RFID está relacionado ao custo, devido ser mais caro do que os sistemas de código de barras, principalmente quando se utiliza as etiquetas ativas.

De acordo com Andrade, Figueiredo e Tlemçani (2021), os sistemas RFID são muito empregados nos domínios tecnológicos onde a integridade e confiabilidade dos dados são fatores-chave dos negócios. Por exemplo, na manufatura onde o uso de sistemas RFID possibilitou o *Enterprise Resource Planning* (ERP) obter informações do sistema produtivo em tempo real e na logística onde os sistemas RFID permitem o rastreamento de produtos em estoque.

2.5 Sistemas autônomos de movimentação de produtos

De acordo com Vivaldini et al. (2015), a automação dos sistemas logísticos é fundamental para a melhoria da produtividade nas empresas. É um fator importante para a competitividade e aumento da eficiência operacional.

O manuseio de materiais consiste em como transportar matérias-primas, produtos parcialmente manufaturados e mercadorias entre diferentes locais de sistemas de manufatura e

armazéns. Quando o transporte é automatizado, a solução é fornecida por Sistemas de Manuseio de Materiais, que podem operar continuamente ou sob demanda. Dependendo do tipo de produtos a manusear e do transporte a realizar, existem diferentes soluções no mercado. Por exemplo, transportadores de correia, rolos e verticais, elevadores, robôs de manuseio de materiais e AGVs. O transportador de correia é uma forma econômica de transportar a maioria dos tipos de produto, enquanto o transportador de rolos é popular para o transporte de embalagens gerais ou produtos sólidos, tanto em operações horizontais quanto inclinadas. Dependendo do tipo e peso do material, as operações verticais são realizadas por transportadores verticais, elevadores e manipuladores. Os AGVs são especialmente adequados para aplicações onde o espaço é escasso e a flexibilidade é crítica (BARBERÁ; PEREZ, 2010).

A flexibilidade em um sistema de manufatura automático é sempre um desafio para os usuários ou pesquisadores. Para atingir a flexibilidade desejada, uma das soluções é através do sistema móvel de manuseio de materiais. Ele deve se mover de forma independente para transportar mercadorias ou processar peças de trabalho (LEE; GOH; TEW, 2018).

Neste sentido, a seguir são apresentados os sistemas autônomos de movimentação de produtos aplicáveis na Indústria 4.0, ou seja, veículos autônomos guiados (AGVs) e robôs móveis autônomos (AMRs).

2.5.1 AGV - *Automated Guided Vehicle*

AGVs (veículos autônomos guiados) são dispositivos de manuseio de materiais usados para o transporte de paletes (mercadorias e materiais) em áreas automatizadas (ou seja, áreas de recebimento, carregamento, transporte, armazenamento e estações de produção). A aplicação de AGVs impacta significativamente na execução de tarefas pelas suas vantagens e benefícios, que incluem aumento de flexibilidade nos processos, baixo custo de mão de obra, disponibilidade 24h (dependendo do tempo de carga da bateria) e integração e controle por computador da função de manuseio de materiais (VIVALDINI et al., 2015).

Segundo Vivaldini et al. (2015), dois aspectos devem ser considerados na implementação de um sistema AGV, a quantidade de AGVs necessária para a execução das tarefas e a existência de um sistema de roteamento e agendamento de tarefas eficiente que não apenas minimiza o tempo gasto, mas também evite colisões e bloqueios.

Draganjac et al. (2020) afirmam que a logística da fábrica desempenha um papel importante em qualquer processo de produção, afetando a eficiência da produção e o consumo de energia. Como as matérias-primas e os produtos finais precisam fluir constantemente entre

o depósito da fábrica e o chão de fábrica, qualquer gargalo e ineficiência na logística diminui o nível de produtividade de toda a fábrica. Uma tecnologia importante que há muito tempo é reconhecida como uma solução prática e confiável para melhorar a eficiência das operações de manuseio de materiais em ambientes industriais são os sistemas com vários veículos autônomos guiados ou sistemas multi-AGV. Caracterizados por sua capacidade de transportar de forma contínua, segura e eficiente diferentes tipos de carga sem intervenção humana, os sistemas multi-AGV se tornaram uma parte essencial de muitas instalações automatizadas de manufatura e armazenamento. Apesar dos recentes exemplos bem-sucedidos de uso em larga escala de veículos autônomos de entrega móvel, muitos dos processos de fabricação e logística de hoje ainda são amplamente dependentes de veículos operados manualmente.

O principal sistema de orientação nos primeiros AGVs industriais era um fio enterrado no piso. Uma frequência era induzida através do fio para que o AGV pudesse detectá-la e segui-la, e assim ser direcionado por sua rota. A inteligência estava no controlador de piso que produzia os sinais ao longo do fio. Nesse caso, o AGV atuava como uma espécie de dispositivo burro. A próxima geração de sistemas AGV, impulsionada pelos avanços e redução de custos em microeletrônica e microcomputadores, tornou os AGVs mais inteligentes, podendo armazenar instruções sobre as rotas, tomar decisões e participar do controle de tráfego do sistema global. Além disso, novos sistemas de orientação sem fio, utilizando lasers ou sistemas inerciais, permitiram que os AGVs operassem sem caminhos guias físicos, nomeadamente AGVs de alcance livre, o que tornou a instalação de tais sistemas mais fáceis e facilitou as modificações dos caminhos de guia quando novas estações ou fluxos fossem adicionados (LE-ANH; KOSTER, 2006; VIS, 2006).

Segundo Barberá e Perez (2010), os sistemas AGV são aplicados pelas indústrias para implementar sistemas de manuseio de materiais flexíveis, que muitas vezes são necessários para o modelo de manufatura altamente automatizado empregado atualmente. O sistema de manuseio de materiais flexível permite rotas alternativas que podem ser usadas para compensar falhas de máquina ou mudanças de produto, o que os torna especialmente adequados para variações sazonais e cíclicas. O sistema de manuseio de materiais compostos de AGVs têm sido usados para tarefas como movimentação de produtos em depósitos, distribuição e funções de armazenamento ou transporte de subpartes entre diferentes estações de montagem em uma linha de produção.

O desenvolvimento de um sistema AGV necessita atender alguns requisitos, como navegação e orientação, roteamento, gerenciamento de tráfego, transferência de carga e gerenciamento de sistema. A navegação e a orientação permitem que o veículo siga uma rota.

Roteamento é a capacidade do veículo tomar decisões ao longo do caminho de orientação a fim de selecionar rotas ideais para destinos específicos. A gestão de tráfego é um sistema ou capacidade do veículo para evitar colisões com outros veículos. A transferência de carga é o método de coleta e entrega para um sistema AGV, que pode ser simples ou integrado a outros subsistemas. O sistema de gerenciamento é o método de controle do sistema usado para ditar a operação do sistema (BARBERÁ; PEREZ, 2010).

A técnica de navegação do AGV ponto a ponto pode ser separadas em dois grupos, navegação por caminho fixo e navegação por caminho aberto. Em ambos os casos, a ideia básica é que o AGV deve seguir um caminho-guia fixo. A navegação de caminho fixo usa a ideia original de fios embutidos no piso, embora outras técnicas como fita magnética ou reflexiva na superfície do piso também possam ser usadas. Neste caso, os caminhos são fixos e, portanto, uma modificação do layout implica em parar todo o sistema e alterar os caminhos fisicamente. Por outro lado, a tarefa de navegação é fácil, exigindo apenas um sensor para detectar a guia no chão. Na navegação de caminho aberto o AGV pode, pelo menos teoricamente, seguir qualquer caminho guia para navegar entre os pontos. Assim, para navegar neste ambiente, o AGV precisa de um mapa e de um método para saber sua localização (BARBERÁ; PEREZ, 2010).

Nos sistemas atuais, as rotas para transporte de carga são predefinidas durante o projeto do layout do caminho de fluxo. Normalmente, todas as rotas possíveis são armazenadas na memória AGV em conjunto com o mapa do ambiente. Quando uma encomenda é recebida, o sistema de navegação decide qual das rotas memorizadas utilizar para se deslocar de um ponto a outro. Normalmente, isso é feito em termos do caminho mais curto e pode ser combinado com o processo de coordenação de tráfego para sincronizar o uso de caminhos entre vários AGVs. Mas este modelo implica que, se o layout for modificado, as rotas também deverão ser modificadas (BARBERÁ; PEREZ, 2010).

No caso de navegação de caminho aberto, AGVs de alcance livre, modificar rotas implica computar e programar os caminhos em todos os AGVs. Se houver muitos, o processo requer que o sistema seja interrompido, embora neste caso o período não produtivo seja mais curto do que com sistemas de navegação por caminho fixo e guiados por fio. Normalmente, a programação do caminho de guia é feita repetindo as rotas sob controle manual. Quando há muitos AGVs, o processo se torna maior. Em outros casos, o processo de programação é feito em um computador centralizado e, em seguida, as rotas são transmitidas aos AGVs. Em qualquer caso, se a planta baixa for grande e o número de pontos de carga/descarga for alto, o processo é extremamente demorado (BARBERÁ; PEREZ, 2010).

A Figura 12 apresenta alguns tipos de AGVs com diferentes aplicabilidades empregados para automatizar os fluxos de materiais.

Figura 12 - Tipos de veículos autônomos guiados (AGV)



Fonte: AGVS (2021)

Tais equipamentos podem utilizar a orientação óptica através de sensores que detectam uma faixa branca entre duas pretas, podendo estas serem pintadas ou até mesmo fitas de demarcação de piso; indutiva através de sensores que detectam uma faixa metálica no piso, podendo esta ser uma simples fita de metal ou até mesmo chapas com o recorte do percurso planejado; indutiva por frequência em que utiliza uma antena que identifica o sinal emitido por um cabo (1,5 mm flexível) que através de um corte no piso é colocado à cerca de 20mm da superfície e/ou magnética através de sensores que detectam uma faixa magnética no piso (AGVS, 2021).

2.5.2 AMR - *Autonomous Mobile Robot*

Segundo Walker (2021), o emprego da automação nas operações de manufatura e armazenamento em razão da Indústria 4.0 provocou uma evolução nas tecnologias utilizadas em empilhadeiras não tripuladas e transportadores inteligentes. Um desses avanços deve-se aos robôs móveis autônomos (AMRs) como alternativas mais inteligentes e flexíveis aos AGVs para uma ampla variedade de atividades de manuseio de materiais. Um AMR é um veículo que usa sensores e processadores de bordo para mover materiais de forma autônoma, sem a necessidade de guias físicos ou marcadores. Portanto, sua navegação está baseada no sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e na tecnologia SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) para definir sua rota. Permitindo o equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto.

De acordo com Yan et al. (2020), com base na localização e mapeamento simultâneos,

o robô é capaz de “ver” sua própria localização e se mover com precisão para a posição do alvo em um ambiente desconhecido, o que é um indicador importante para melhorar a inteligência do robô. Atualmente, existem duas maneiras de autocalibração e de navegação do robô de serviço interno usando o método SLAM, uma é usar câmera visual e a outra é usar detecção e alcance de luz. Embora a precisão da medição de ponto único pela câmera seja menor do que a do LiDAR, ela pode construir mapas de nuvem de pontos mais densos e ricos com base na observação repetida das informações de textura das imagens e melhorar a precisão do posicionamento. A câmera depende muito das condições de iluminação e não funciona em áreas escuras ou com informações de textura insuficientes. No entanto, o LiDAR tem as características de alcance rápido em tempo real, não limitado pelo ambiente de luz, alta precisão de alcance, ou seja, possui um desempenho mais confiável e constante.

A Figura 13 apresenta alguns tipos de AMRs com diferentes capacidades de carga e alturas de elevação utilizados para automatizar os fluxos de materiais. A navegação destes veículos autônomos guiados é óptica e baseada em ímãs, triangulação e SLAM. O controlador ou gerente de frota lida com o controle e otimização de todos os pedidos de transporte, podendo receber pedidos de qualquer sistema de gerenciamento de armazém ou sistema ERP (SCHAEFER, 2021).

Figura 13 - Tipos de robôs móveis autônomos (AMR)



Fonte: Schaefer (2021)

2.6 Sistemas de armazenagem de paletes

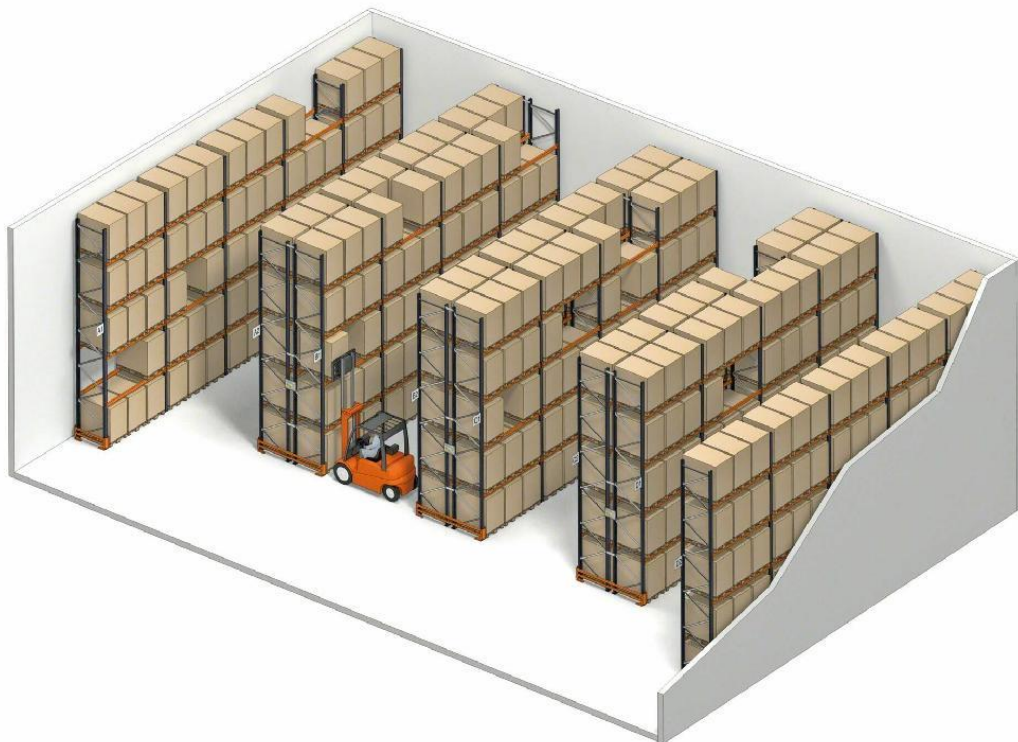
Sistemas de armazenagem de paletes são estruturas projetadas que permitem depositar paletes de mercadorias de forma organizada e segura, permitindo um fácil manuseio e

rastreabilidade quando necessário. Existem diversos sistemas de armazenagem de paletes, que dependem do tipo de mercadoria a armazenar, do método de operação e do ambiente a ser instalado. Neste sentido, a seguir são apresentados os sistemas de armazenagem de paletes atualmente utilizados, tais como sistema porta palete convencional, sistema *drive-in*, sistema dinâmico, sistema base móvel, sistema de carro satélite e sistemas de armazenagem automático.

2.6.1 Sistema porta palete convencional

O sistema porta palete convencional é o método mais universal para o acesso direto e unitário a cada paleta. Os porta palete são estruturas de fácil e rápido manuseio que permitem a armazenagem de paletes de forma organizada e prática. Os porta palete são versáteis devido a facilidade de se adequar ao tipo de produto estocado, ou seja, tamanho e peso. A distribuição e altura das estantes são determinadas em função das características das empilhadeiras, dos produtos a serem armazenados e das dimensões do local (BERTOLINI, 2021). A Figura 14 apresenta o sistema porta palete convencional mais utilizado nas empresas.

Figura 14 - Sistema porta palete convencional



Fonte: Mecalux (2021)

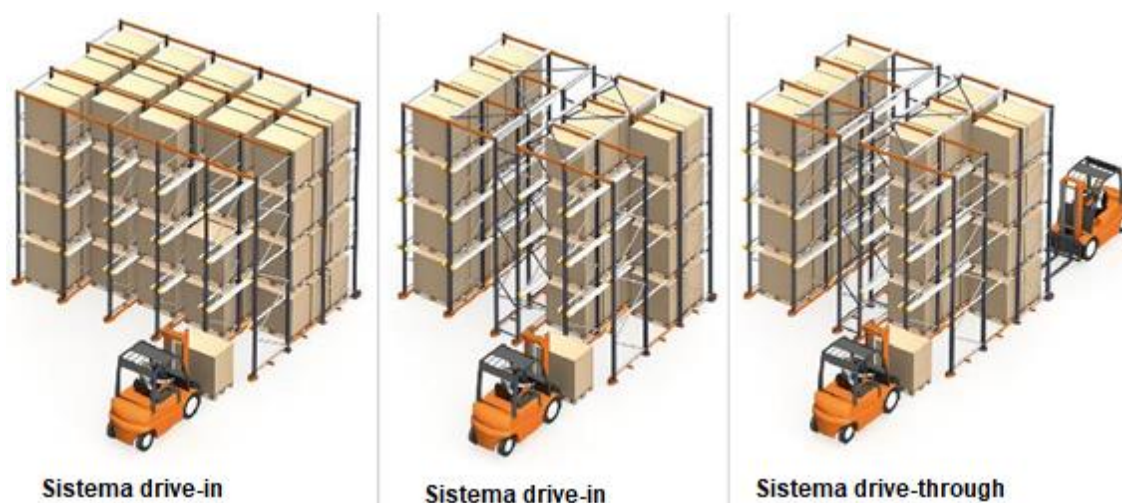
Segundo Bertolini (2021), as principais vantagens do sistema porta palete convencional são:

- Otimização do armazenamento de produtos;
- Auxílio no controle de estoque, pois é um sistema de fácil e rápido manuseio, o que favorece a busca e o controle de mercadorias;
- Adaptável aos espaços e tamanho de carga;
- Organização favorável a necessidade da empresa.

2.6.2 Sistema *drive-in*

O sistema *drive-in* é um método compacto de armazenagem de paletes por acumulação que permite a máxima utilização do espaço disponível, tanto em superfície como em altura. O sistema é projetado de forma em que a empilhadeira possa acessar o interior da prateleira e ir depositando a mercadoria em vários níveis e profundidades. Este sistema é adequado para produtos homogêneos com baixa rotação e grande quantidade de paletes por referência. O sistema compacto é muito utilizado em câmaras frigoríficas, tanto de refrigeração como de congelamento que precisam aproveitar ao máximo o espaço destinado a armazenagem de seus produtos a temperatura controlada. Mas também podem ser empregados em áreas de estoque para a produção (MECALUX, 2021). A Figura 15 apresenta o sistema de armazenagem *drive-in* e *drive-through*.

Figura 15 - Sistema de armazenagem *drive-in* e *drive-through*



Fonte: Mecalux (2021)

O método de entrada e saída de mercadoria deste sistema de armazenagem é o LIFO (*Last In, First Out*), ou seja, a última mercadoria a entrar será a primeira a sair. No entanto, o sistema *drive-in* pode ser configurado com 2 corredores de acesso, um para carga e outro para

descarga, sendo nomeado de sistema *drive-through*. O sistema *drive-through* utiliza o método de entrada e saída de mercadoria FIFO (*First In, First Out*), ou seja, a primeira mercadoria a entrar será a primeira a sair (MECALUX, 2021).

Segundo Mecalux (2021), as principais vantagens dos sistemas de armazenagem *drive-in* e *drive-through* são o maior aproveitamento do espaço disponível no armazém, ou seja, aumento acima de 50% em função da eliminação dos corredores entre as prateleiras e o rigoroso controle de entradas e saídas de mercadoria.

2.6.3 Sistema dinâmico

O sistema dinâmico de armazenagem é formado por prateleiras que possuem uma plataforma de roletes inclinada que permite o deslizamento dos paletes, por gravidade e velocidade controlada até o extremo oposto ao de abastecimento. Também é considerado um sistema compacto de armazenagem pois não necessita de corredores entre as prateleiras. O sistema dinâmico utiliza o método de entrada e saída de mercadoria FIFO. O sistema dinâmico é ideal para armazéns de produtos perecíveis em função do seu modo de operação, mas pode ser aplicável a qualquer setor da indústria ou da distribuição, tais como da alimentação, farmacêutica, química e automobilística (MECALUX, 2021). A Figura 16 apresenta o sistema de armazenagem dinâmico.

Figura 16 - Sistema de armazenagem dinâmico



Fonte: Mecalux (2021)

Segundo Bertolini (2021), as principais vantagens do sistema de armazenagem dinâmico são:

- Operação pelo princípio FIFO;
- Aumento do espaço de armazenagem;

- Excelente controle de estoque;
- Aumento de produtividade.

2.6.4 Sistema base móvel

O sistema base móvel de armazenagem permite compactar as estantes e aumentar a capacidade de armazenagem sem perder o acesso direto a cada palete. As prateleiras são instaladas sobre bases móveis automatizadas e guiadas que se deslocam lateralmente, assim suprime os corredores e no momento necessário abre-se o corredor no local necessário a operação (MECALUX, 2021). A Figura 17 apresenta o sistema base móvel de armazenagem.

Figura 17 - Sistema base móvel de armazenagem



Fonte: Mecalux (2021)

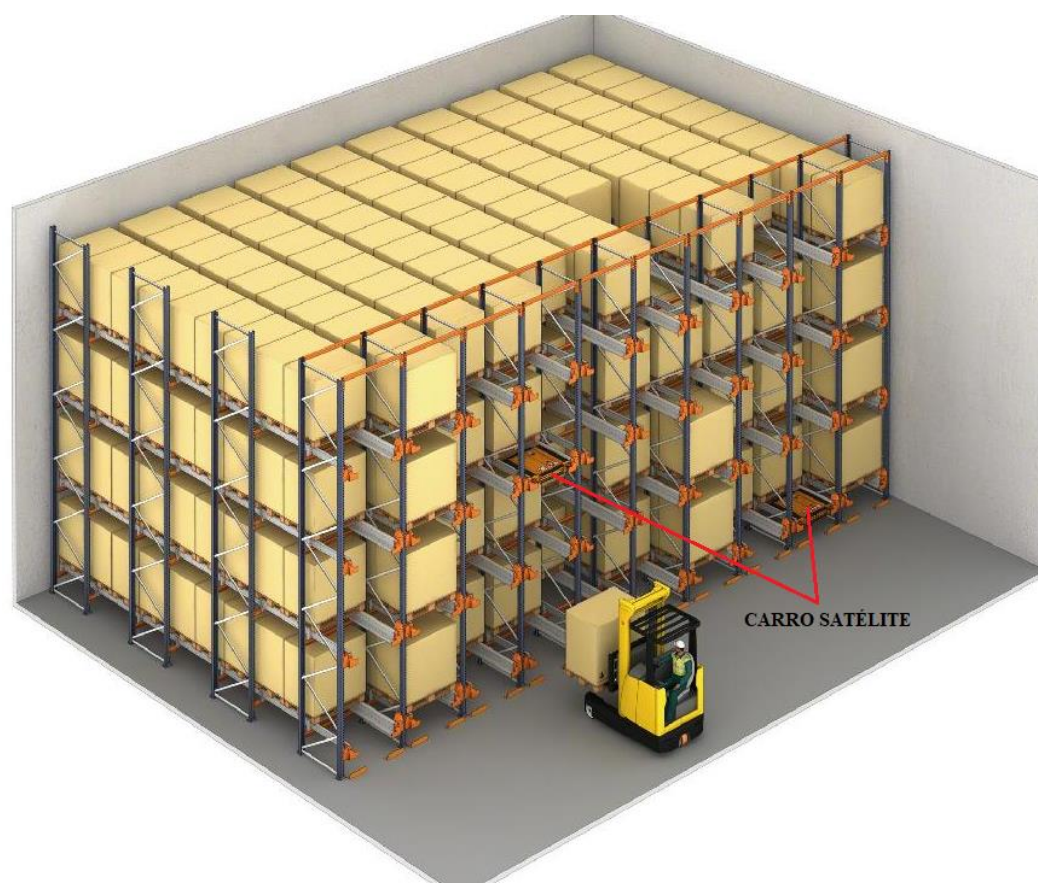
Segundo Bertolini (2021), as principais vantagens do sistema base móvel de armazenagem são:

- Aumento da área de armazenagem com a eliminação de corredores individuais;
- Estrutura moderna, prática e segura;
- Aplicável em armazenagem de mercadorias com média e alta rotatividade.

2.6.5 Sistema de carro satélite

O sistema de carro satélite de armazenagem é um sistema compacto semiautomático que utiliza um carrinho elétrico que se desloca sobre os trilhos para carregar e descarregar os paletes no interior das prateleiras de forma rápida e precisa. O sistema de carro satélite é uma evolução dos sistemas de armazenagem *drive-in* e *drive-through*, pois não necessita que as empilhadeiras entrem no interior das prateleiras para depositar ou remover o palete e possibilita a armazenagem de diferentes mercadorias em cada nível de um corredor de armazenagem. Neste sistema o método de entrada e saída de mercadoria pode ser FIFO ou LIFO, pois ambas as extremidades podem permitir o acesso, caso haja a necessidade (MECALUX, 2021). A Figura 18 apresenta o sistema de carro satélite de armazenagem.

Figura 18 - Sistema de carro satélite de armazenagem



Fonte: Mecalux (2021)

Nas instalações semiautomáticas necessita-se da intervenção de operadores para a manipulação das empilhadeiras que transportam os paletes, assim como para ativar o funcionamento do carrinho motorizado. O movimento dos carrinhos no interior das estantes é realizado de forma automática. A Figura 19 apresenta o procedimento operacional do sistema

de carro satélite de armazenagem. Primeiramente a empilhadeira deposita o carro satélite no canal onde se deseja operar (passo 1). Após a empilhadeira coloca os paletes um por um na entrada do canal sendo apoiados nos perfis de carga (passo 2). Através do tablet o operador dá a ordem correspondente para que o carrinho inicie a operação de carga. Uma vez identificada a posição do paleta o carro satélite eleva levemente o paleta sobre si e depois o desloca horizontalmente até chegar à primeira localização livre, onde irá depositá-lo. Diferentes sensores controlam com grande precisão o movimento da carga armazenada (passo 3). Na sequência o carro satélite volta ao início do canal para repetir o movimento com o próximo paleta e assim sucessivamente até encher o canal. Antes de ocupar a última localização o carrinho é retirado e a sequência é repetida no próximo canal desejado (passo 4).

Figura 19 - Procedimento operacional do sistema de carro satélite de armazenagem



Fonte: Mecalux (2021)

Segundo Mecalux (2021), as principais vantagens do sistema de carro satélite de armazenagem são:

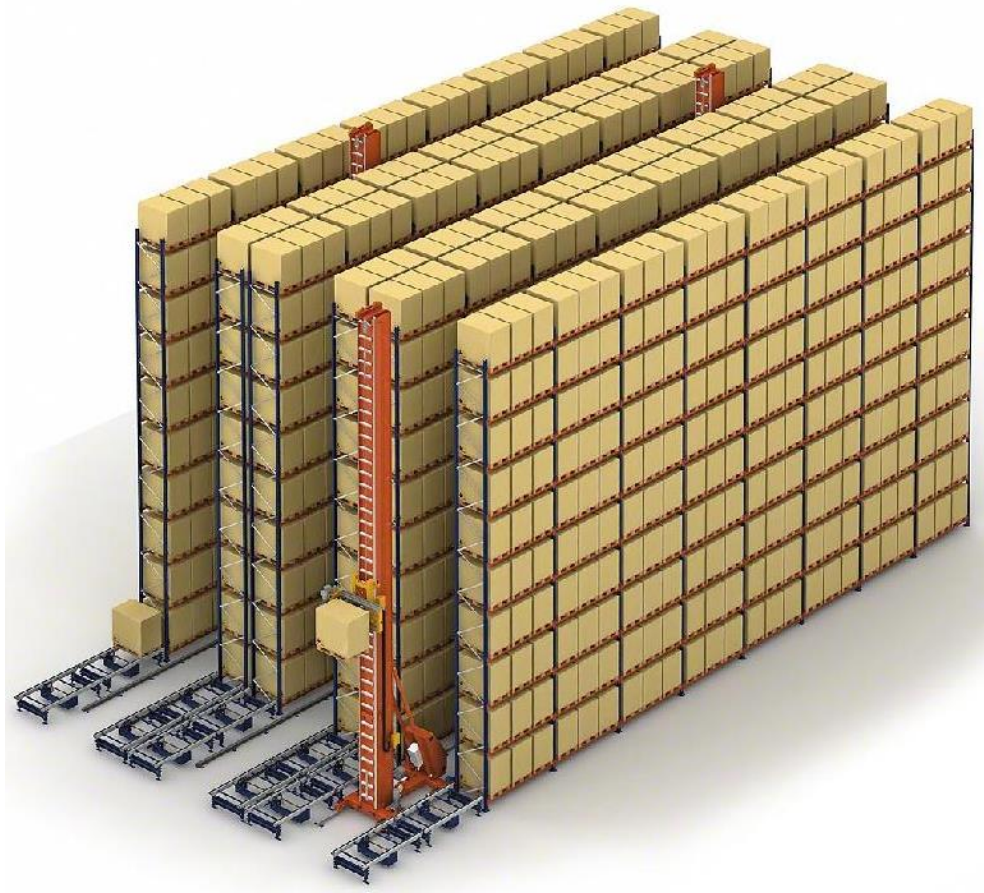
- Redução de custos operacionais;
- Diminuição de incidentes e custos de manutenção;
- Economia de espaço devido um maior número de paletes em profundidade;
- Economia de tempo de carga e descarga devido, eliminar o deslocamento do operador no interior dos corredores, conseqüentemente uma maior produtividade devido a um aumento do fluxo de entradas e saídas de mercadorias no armazém;
- Possibilidade de agrupar diferentes mercadorias em um corredor de armazenagem devido o carro satélite movimentar-se em cada nível do corredor;
- Otimização da movimentação, pois enquanto o carro satélite executa uma ordem o operador vai buscar outro paleta conseguindo um movimento contínuo.

2.6.6 Sistema de armazenagem automático

Sistemas de armazenagem automático são soluções automatizadas para executar as

operações de entrada, armazenagem e saída dos produtos paletizados do armazém. Uma forma de automatizar a movimentação de paletes no interior do armazém é com a utilização de transelevadores. Transelevadores são equipamentos desenvolvidos para o armazenamento automático de paletes que se deslocam nos corredores e realizam as funções de entrada, posicionamento e saída de mercadorias (MECALUX, 2021). A Figura 20 apresenta o sistema de armazenagem automático.

Figura 20 - Sistema de armazenagem automático



Fonte: Mecalux (2021)

Segundo Bertolini (2021), as principais vantagens do sistema de armazenagem automático são:

- Operação 100% automatizada;
- Eliminação de erros operacionais;
- Redução do tempo de entrega devido a agilidade e otimização das movimentações;
- Eficiência na utilização do espaço disponível devido necessitar de corredores mais estreitos para a movimentação.

2.7 WMS - *Warehouse Management System*

Segundo Fávero et al. (2016), a evolução tecnológica dos armazéns logísticos pode ser atribuída à implementação de um Sistema de Gerenciamento de Armazém ou WMS (*Warehouse Management System*). O WMS é um sistema de gestão cuja base é um software que tem o intuito de melhorar as operações de um armazém, por meio do gerenciamento de informações e conclusões das tarefas, com um nível aceitável de controle e acuracidade do inventário. Os autores também destacam que esse sistema tem como objetivo principal aumentar a precisão das informações de estoque, aumentar a velocidade e a qualidade das operações do centro de distribuição, aumentar a produtividade do pessoal e dos equipamentos do depósito.

Neste sentido, Sommerfeld (2020) define o WMS como um sistema de logística que possui o objetivo de gerenciar todos os processos logísticos e as operações que ocorrem em um armazém ou centro de distribuição. O software de WMS permite gerenciar todas as movimentações internas de produtos e materiais, desde o momento de entrada até o momento de saída, envolvendo os processos de inventário, separação e preparação de pedidos, bloqueios de produtos, otimização do armazenamento, entre outras operações. Normalmente o WMS atua como um módulo complementar integrado a um software de ERP, fornecendo dados e atuando exclusivamente nos processos logísticos de uma empresa.

Segundo Sommerfeld (2020), as principais vantagens de implementar-se um sistema WMS são:

- Gestão do estoque: possibilita um maior controle do estoque armazenado, pois tudo que entra e sai é registrado pelo software através de tecnologias como o RFID, coletores de dados e scanners de código de barras. Isso facilita o armazenamento após a entrada das mercadorias, o rastreamento e localização na prateleira, o que agiliza a separação de pedidos;

- Redução de custos: com o controle do estoque e o armazenamento mais eficiente, o risco de extravio de produtos e dificuldade de rastreamento são eliminados. O sistema permite monitorar e rastrear todas as informações do produto, possibilitando uma gestão mais estratégica do estoque;

- Melhoria no atendimento ao cliente: é possível entregar os pedidos dos clientes com mais rapidez, além de oferecer maior precisão quanto a disponibilidade das mercadorias e data de entrega;

- Maior controle de inventário: pois com os itens devidamente registrados e etiquetados, o software contabiliza o número exato de produtos disponíveis e permite atualizar o sistema com informações assertivas;

- Otimização da utilização do espaço físico: permite otimizar o armazenamento das mercadorias em um armazém, alocando-as de maneira mais eficiente. Assim, as mercadorias são alocadas conforme características como tipo de embalagem, rotatividade e proximidade de itens que acabam tornando o trabalho de separação mais ágil e produtivo;

- Aumento de produtividade: devido a suas características, ele reduz o trabalho manual e dependência de funcionários, trazendo rapidez e agilidade em todos os processos logísticos, além de fornecer dados em tempo real para a análise dos gestores.

Os sistemas de gerenciamento de armazém não operam isoladamente de outras ferramentas de gestão de negócios, mas coexistem no mesmo ecossistema. Portanto, é necessário viabilizar a conexão entre o ERP da empresa ao WMS. Os sistemas ERP e WMS devem compartilhar informações continuamente e dependendo do tipo de dados e processos, o papel de cada sistema muda. Por exemplo, o ERP coordena o WMS quando o sistema ERP cria e mantém o banco de dados principal, pois registra novos produtos, adiciona fornecedores e transfere pedidos de compras para o armazém, além de gerar notas fiscais. Mas também existe uma transferência de informações do WMS para o ERP quando, por exemplo, a mercadoria é recebida no armazém ou os pedidos são despachados. Nestes casos, é o WMS que notifica o ERP e atualiza os dados do inventário (MECALUX, 2020).

A seguir são apresentadas três opções de softwares WMS comercialmente disponíveis (BRANDÃO, 2020):

- Easy WMS: o sistema Easy WMS promete oferecer flexibilidade para se adaptar a qualquer situação, como o surgimento de novas tecnologias, aumento da demanda ou mudanças no mercado e compatibilidade com o e-commerce. Permite o controle de estoque em tempo real e pode ser integrado a qualquer sistema ERP. Possui a opção on-premise, na qual tanto o software quanto o hardware do sistema ficam alojados na empresa e a opção baseada em SaaS (Software as a Service), que trabalha em Nuvem com uma interface 100% Web, o que permite que o sistema seja acessado por meio de qualquer navegador;

- Senior WMS: apresenta-se como versátil e capaz de atender às necessidades de todos os portes de negócios, sejam distribuidores ou atacadistas de qualquer segmento. O software organiza a armazenagem de acordo com uma série de dados, a fim de otimizar o espaço disponível e proporcionar maior agilidade na movimentação das mercadorias. O sistema estabelece a prioridade das ações, distribuindo tarefas automaticamente, com base nas exigências do setor e nos níveis de serviço pré-estipulados, o que reduz a ociosidade e aumenta a produtividade;

- HighJump WMS: promete acompanhar a evolução do seu negócio e se adaptar às

necessidades da empresa. Altamente customizável, o software permite upgrade de versão de forma simples, rápida e sem custo, além de não haver necessidade de reconfiguração ou correr o risco de perdas de dados. Por meio do cruzamento de diversos dados, como histórico de produtos, demandas, lead time e giro, o sistema otimiza a organização do armazém, maximizando o uso do espaço disponível e aumentando a produtividade.

2.8 Metodologia de desenvolvimento de projeto

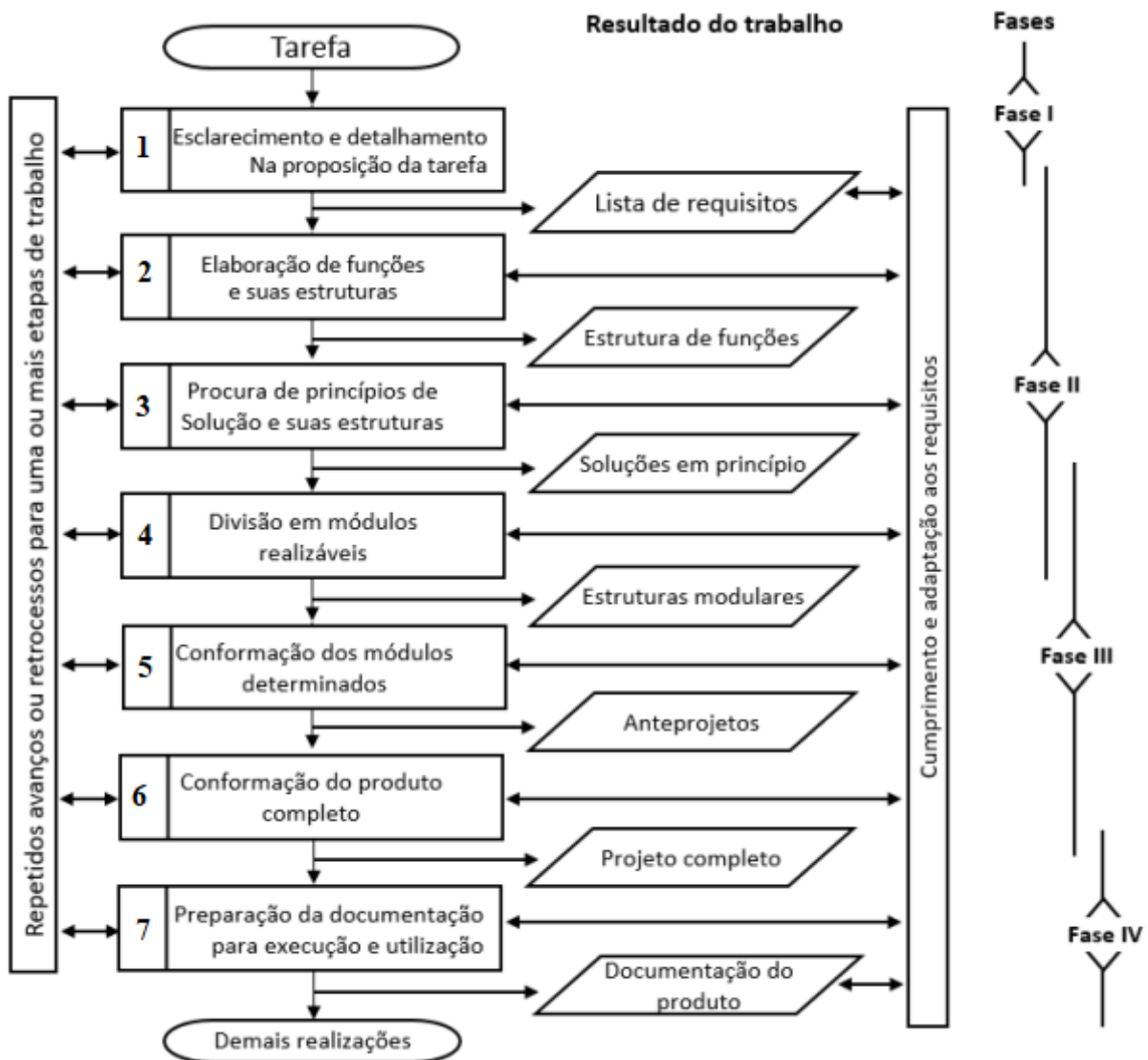
Uma metodologia de trabalho deve ser aplicável independentemente da especialidade e sem necessidade de pré-conhecimentos específicos por parte do usuário. Ela deverá auxiliar o processo mental de forma organizada e eficaz. Assim, Pahl et al. (2005) define metodologia de projeto como um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos que resultaram de conhecimentos na área da ciência de projeto e da psicologia cognitiva e também da experiência com diferentes aplicações. Segundo o autor uma metodologia de projeto deverá:

- Possibilitar um procedimento orientado por problemas, ou seja, ser aplicada em princípio em qualquer atividade de projeto, independentemente da especialidade;
- Incentivar invenções e conhecimentos, ou seja, facilitar a busca de soluções ótimas;
- Ser compatível com conceitos, métodos e conhecimentos de outras disciplinas;
- Não gerar soluções somente por acaso;
- Permitir uma fácil transferência das soluções de tarefas semelhantes;
- Ser apropriada para ser usada no computador;
- Ser possível de ser ensinada e aprendida;
- Estar em conformidade com conhecimentos da psicologia cognitiva e da ergonomia, ou seja, facilitar o trabalho, economizar tempo e evitar decisões erradas;
- Facilitar o planejamento e o controle do trabalho em equipe num processo integrado e multidisciplinar de geração de um produto;
- Ser orientação e diretriz para os gerentes de projeto de equipes de desenvolvimento.

Neste contexto, Pahl et al. (2005) propõe um método de projeto composto por quatro fases principais, ou seja, o esclarecimento e definição metódica da tarefa, métodos para concepção, metodologia para anteprojeto e métodos para o detalhamento. Cada fase principal tem seu objetivo específico no contexto do projeto e é subdividida em micro fases, que em ordem sequencial buscam organizar o pensamento projetivo. O procedimento geral para o desenvolvimento de um projeto segundo Pahl et al. (2005) está ilustrado na Figura 21. Observa-

se que a metodologia permite que ao final de cada fase seja verificado o atendimento aos requisitos de projeto, avançando ou retrocedendo etapas se necessário, minimizando o risco de insucessos no projeto.

Figura 21 - Procedimento geral para o desenvolvimento do projeto



Fonte: Pahl et al. (2005)

Seguindo a metodologia apresentada na Figura 21, a primeira etapa consiste no esclarecimento do problema de projeto de forma aprofundada, facilitando assim a identificação das especificações de produto determinantes para a solução e configuração. Como resultado desta etapa, Pahl et al. (2005) recomenda a formulação das especificações de forma quantitativa, formatadas em uma lista de requisitos de projeto, contendo uma medida do grau de atendimento da tarefa pelo setor de desenvolvimento ou projeto, constituindo-se assim como o documento das especificações do produto.

Na sequência, a segunda etapa da metodologia é chamada de concepção, cuja ideia principal é o desenvolvimento de um princípio de solução através da lista de requisitos elaborada pela etapa anterior, ou seja, definir uma solução preliminar. O princípio de solução pode ser obtido quando a estrutura de funcionamento do produto assume uma forma mais concreta. Essa concretização envolve a especificação dos possíveis materiais a serem utilizados, um dimensionamento prévio e aproximado do produto e também a consideração de recursos tecnológicos.

Posteriormente, a terceira etapa da metodologia denomina-se de projeto preliminar ou anteprojecto e determina de forma clara e completa a estrutura de construção do projeto, partindo da solução preliminar e baseando-se em critérios técnicos e econômicos. Assim, o anteprojecto define os materiais, os processos de manufatura e as dimensões principais, avalia a compatibilidade espacial, durabilidade e os custos.

Por fim, a quarta etapa deve-se ao projeto detalhado, ou seja, a elaboração da documentação do projeto para a produção. Nesta etapa são elaborados os desenhos de componentes individuais, conjuntos e o desenho completo, contendo inclusive lista das peças, além de prescrições definitivas para a forma, dimensionamento e acabamento superficial de todos os componentes. Para isso, são definidas as especificações dos materiais, revisão das possibilidades de produção e utilização, revisão dos custos finais do projeto, resultando nas documentações obrigatórias de desenho, instruções para produção e montagem.

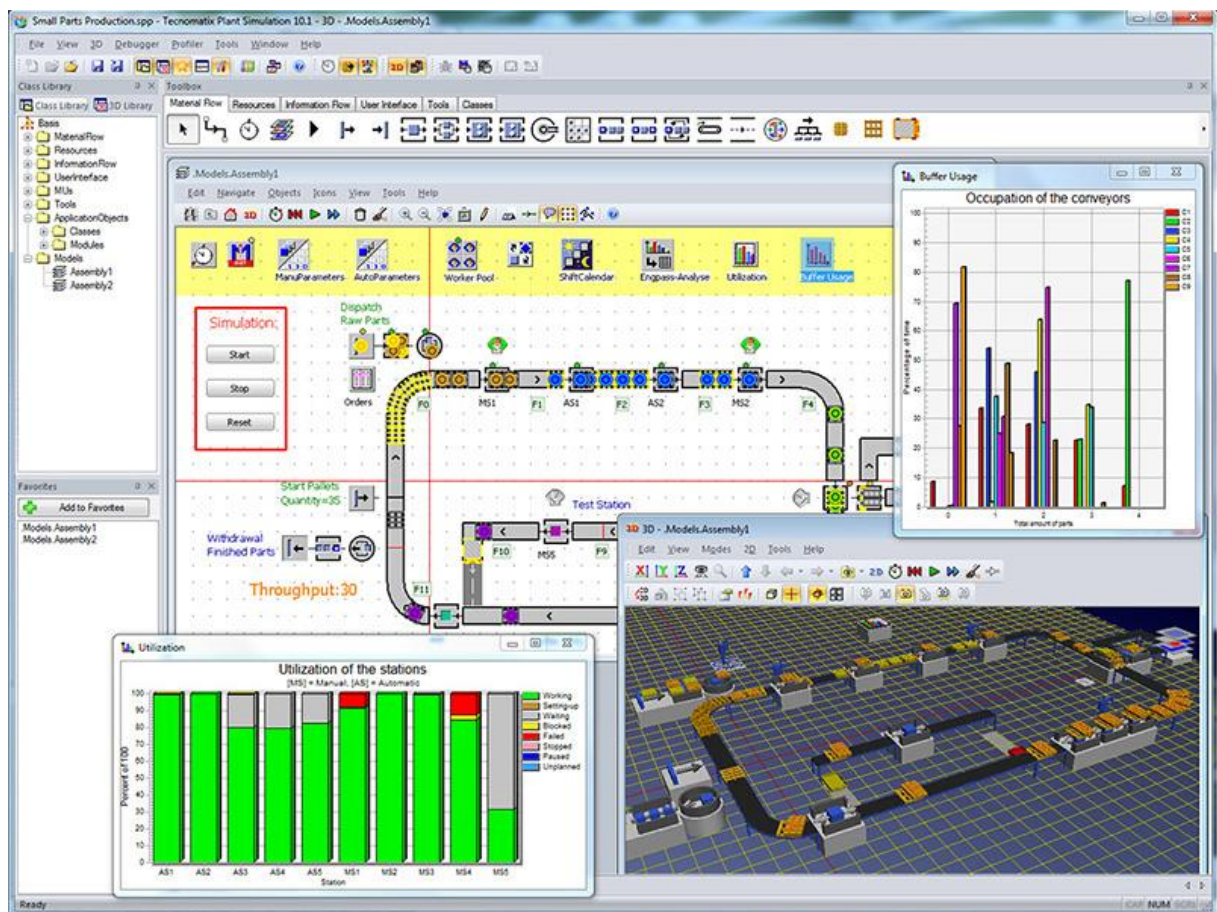
2.9 Tecnomatix Plant Simulation

Em tempos de crescentes pressões de custo e tempo de produção, juntamente com a globalização, a logística tornou-se um fator-chave para o sucesso de uma empresa. A necessidade de entregar dentro do prazo, de introduzir os princípios de manufatura otimizada, de planejar e construir novas instalações de produção sustentáveis e gerenciar redes globais de produção requer critérios de decisão objetivos para ajudar a administração a avaliar e comparar abordagens alternativas. O Tecnomatix Plant Simulation ajuda a criar modelos digitais de sistemas logísticos para que as empresas possam explorar as características do sistema e otimizar o seu desempenho. O modelo digital não só permite aos usuários executar experiências e cenários hipotéticos sem perturbar um sistema de produção existente, mas também pode ser usado durante o processo de planejamento, muito antes do sistema real estar instalado. Ferramentas de extensa análise estatística e gráfica permitem que os usuários avaliem diferentes cenários de produção e tomem decisões confiáveis rápidas nos estágios iniciais de planejamento

da produção (ENGUSA, 2021).

O Tecnomatix Plant Simulation é um aplicativo de computador desenvolvido pela Siemens PLM Software que permite modelar, simular, explorar e otimizar sistemas logísticos e seus processos. Esses modelos permitem a análise do fluxo de material, utilização de recursos e logística para todos os níveis de planejamento de manufatura, desde instalações de produção globais até fábricas locais e linhas específicas, bem antes da execução da produção (SIEMENS, 2021). A Figura 22 apresenta a interface do software Tecnomatix Plant Simulation em um estudo de caso. Nesta figura observa-se que o software permite a visualização do modelo desenvolvido nos formatos 2D ou 3D e permite apresentar as análises graficamente.

Figura 22 - Interface do software Tecnomatix Plant Simulation em um estudo de caso



Fonte: Siemens (2022)

De acordo com a Siemens (2021), as principais vantagens de se utilizar a ferramenta de simulação computacional Tecnomatix Plant Simulation são:

a) Análise de sistemas de produção com simulação estatística 2D e 3D: o software fornece a simulação de eventos discretos e recursos de análise estatística para otimizar o manuseio de materiais, logística, utilização de máquinas e de mão de obra. Usando ferramentas

estocásticas com recursos de modelagem 3D e orientada a objetos é possível aumentar a precisão e a eficiência da manufatura enquanto melhora o rendimento e o desempenho geral do sistema. Possui recursos gráficos e relatórios, algoritmos genéticos e ferramentas de experimentação que permitem avaliar o comportamento dos sistemas de produção para tomar decisões rápidas e confiáveis;

b) Eliminação de gargalos e aumento da taxa de transferência: os modelos do Tecnomatix Plant Simulation são usados para otimizar o rendimento, aliviar gargalos e minimizar o trabalho em processo. Saídas gráficas para detecção automática de gargalos, análise de rendimento, utilização de máquinas, recursos e buffers, diagramas de Sankey e gráficos de Gantt estão entre as muitas ferramentas disponíveis para avaliar o desempenho dos sistemas de produção. Os modelos de simulação levam em consideração cadeias de suprimentos internas e externas, recursos e processos de produção, permitindo analisar dinamicamente o impacto de diferentes variações sobre a produção;

c) Otimização do uso da energia para melhorar o desempenho: é possível otimizar o desempenho e o uso da energia dos sistemas de produção existentes, adotando as medidas que foram verificadas com os modelos de simulação. O Tecnomatix Plant Simulation inclui um analisador de energia integrado que apresenta o consumo de energia atual, máximo e total. Um plotter de energia integrado ilustra graficamente o consumo de energia durante a simulação, permitindo visualizar o consumo de energia durante o horário de trabalho e os intervalos programados;

d) Validação virtual de sistemas produtivos: o Tecnomatix Plant Simulation permite desenvolver um modelo virtual da planta produtiva com todas as operações envolvidas e simular cenários da produção real buscando obter a melhor opção que atende as necessidades e expectativas da indústria. Desta forma, aumentando a assertividade nas decisões sobre investimentos e melhorias de processos, reduzindo riscos de a implementação não atender a demanda e conseqüentemente eliminando custos com reformulações e retrabalhos dos projetos.

Um estudo de caso aplicando o software de simulação Tecnomatix Plant Simulation em uma empresa de manufatura voltada para a produção, montagem e distribuição de painéis solares e trocadores de calor é apresentado por Pekarcikova et al. (2021). Os autores desenvolveram um modelo de simulação do processo produtivo e realizaram análises utilizando as ferramentas do software de simulação. O estudo tinha como objetivo principal a avaliação da substituição de duas empilhadeiras utilizadas para a movimentação dos produtos por transportadores que utilizam a tecnologia AGV.

Através da simulação computacional os autores puderam detectar gargalos e deficiências

nos sistemas de produção, logística e transporte da empresa. Assim, propuseram e testaram virtualmente alternativas de eliminar perdas e otimizar os fluxos logísticos, determinando a frequência de abastecimento, a quantidade de itens por entrega e o número de AGV's necessários no sistema produtivo. Como resultado obtiveram uma melhoria na produtividade de todo o fluxo logístico em cerca de 30%, redução dos estoques interoperacionais em cerca de 70% e aumento da capacidade produtiva em cerca de 35% (PEKARCIKOVA et al., 2021).

Segundo Pekarcikova et al. (2021), o emprego de um software de simulação permitiu a empresa economizar custos em caso de protótipos malsucedidos ou mudanças implementadas diretamente na produção. No modelo de simulação, conforme apontado no estudo, é possível testar a introdução de novos sistemas de produção sem a intervenção direta na empresa real. A mudança do sistema de transporte e a utilização de novas tecnologias levaram a um aumento da produção e do rendimento da empresa, além de eliminar erros relacionados ao fator humano. O uso de elementos de modelagem, simulação e digitalização de processos move a empresa para a era digital, permitindo interconectar processos individuais e estabelecer a comunicação entre dispositivos automatizados.

2.10 Conclusão da revisão bibliográfica

Este capítulo apresentou a base teórica necessária para desenvolver o projeto de um sistema logístico automatizado aplicando as tecnologias, ferramentas e equipamentos que utilizem os conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0. Observou-se que a Indústria 4.0 e a Logística 4.0 desenvolvem-se principalmente através da utilização de tecnologias baseadas no uso da internet. Neste sentido, a Indústria 4.0 aplicada à logística de produção necessita de sistemas de identificação automática e controle em tempo real, integração aos sistemas de informação e automação das atividades de produção e transporte.

As tecnologias de identificação de produtos mais empregadas nas empresas baseiam-se na identificação por código de barras e na identificação por RFID. As principais vantagens de se empregar os sistemas RFID em relação aos sistemas de identificação por código de barras deve-se a sua possibilidade de leitura à distância e a leitura simultânea de várias etiquetas. Porém, a principal desvantagem dos sistemas RFID está relacionado ao custo, devido ser mais caro do que os sistemas de código de barras, principalmente quando se utiliza as etiquetas ativas.

Os sistemas autônomos de movimentação de produtos mais aplicáveis à Indústria 4.0 são os AGVs e os AMRs. As principais vantagens de se utilizar AMRs em relação aos AGVs

está no fato do AMR deslocar-se de forma autônoma, pois utiliza sensores e processadores de bordo. Assim, não necessita de guias físicos ou marcadores no piso, tornando-se mais flexível a mudanças de layout de operação. No entanto, os custos de implementação dos AMRs geralmente são superiores aos AGVs convencionais.

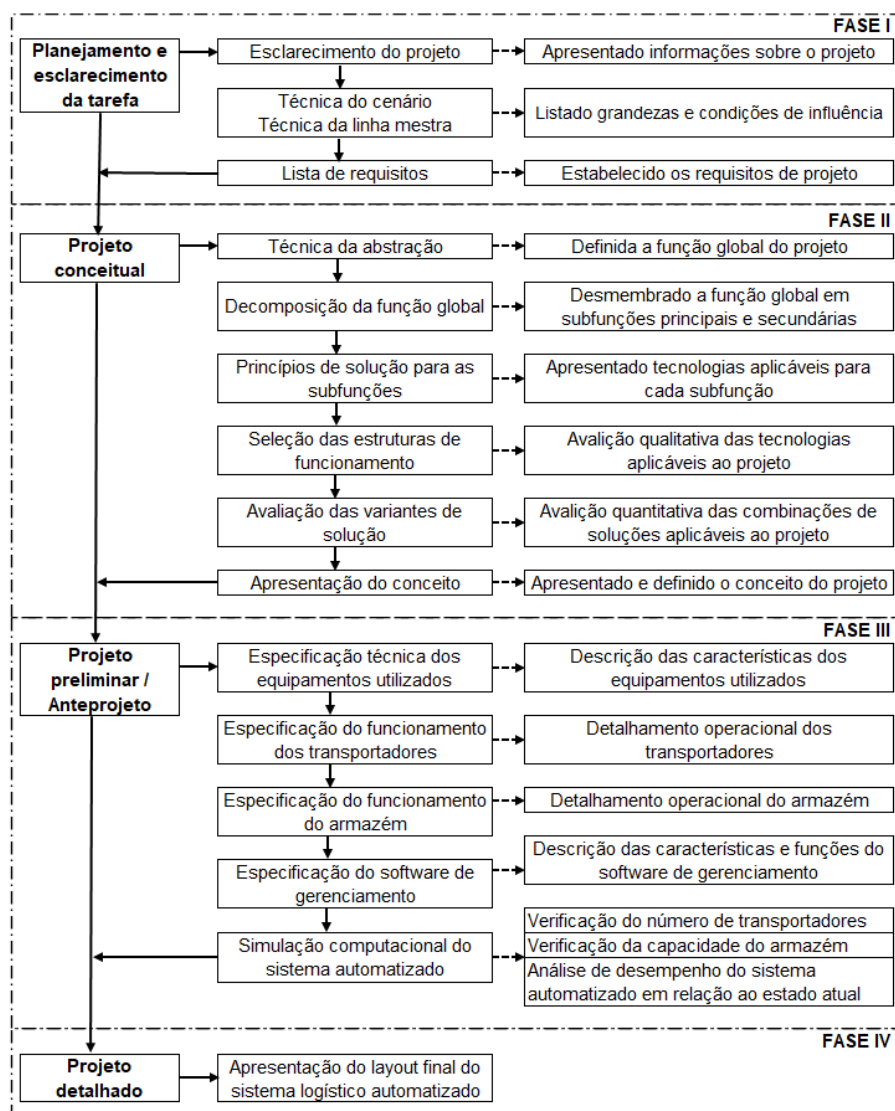
Os principais sistemas de armazenagem de paletes são o sistema porta palete convencional, o sistema *drive-in*, o sistema dinâmico, o sistema base móvel, o sistema de carro satélite e o sistema de armazenagem automático. Os sistemas *drive-in*, dinâmico e carro satélite possuem como principal vantagem a otimização do espaço de armazenagem, porém são mais aplicáveis a produtos que possuem uma grande quantidade do mesmo item. O sistema base móvel têm como principais vantagens o aumento da área de armazenagem com a eliminação de corredores individuais e permite o acesso direto a todos os itens da prateleira. O sistema de armazenagem automático possui como principais vantagens a agilidade e otimização das movimentações. Em relação ao custo de implantação, o sistema de armazém automático requer o maior investimento, seguido do sistema base móvel.

Na sequência apresentou-se a importância de implantar-se um sistema WMS para gerenciar todos os processos logísticos e as operações que ocorrem em um armazém e três opções de softwares WMS comercialmente disponíveis, ou seja, Easy WMS, Senior WMS e HighJump WMS. Posteriormente detalhou-se as etapas da metodologia de projeto proposta por Pahl et al. (2005) e os benefícios de se utilizar a ferramenta de simulação computacional Tecnomatix Plant Simulation.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo apresenta o procedimento metodológico utilizado para desenvolver o projeto de um sistema automatizado de logística interna para produtos embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. O método proposto por Pahl, et al. (2005) foi escolhido por tratar-se de uma metodologia lógica, sistêmica, cíclica e com retornos predefinidos, viabilizando melhorias até a solução do projeto. Desta forma, o desenvolvimento do projeto do sistema automatizado utilizará as quatro etapas desta metodologia de projeto, ou seja, o esclarecimento do projeto (Fase I), o projeto conceitual (Fase II), o projeto preliminar (Fase III) e o projeto detalhado (Fase IV), conforme retratado na Figura 23.

Figura 23 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto baseado na metodologia de Pahl, et al. (2005)



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

A primeira etapa (Fase I) tem por objetivo apresentar as informações a respeito do projeto a ser executado, pois o planejamento é uma atividade que procede e prepara o desenvolvimento do projeto específico, envolve pesquisas de mercado e elaboração das especificações do projeto. Desta forma, primeiramente será realizado o detalhamento do contexto do projeto, aplica-se a técnica do cenário para examinar e esquematizar o ciclo de vida de um produto desde a sua produção até o seu sucateamento, incluindo as fases intermediárias, visando levantar as principais características e considerações do produto em cada etapa e na sequência aplica-se a técnica da linha mestra que consiste em elencar as principais características e funções que o projeto deverá considerar no seu desenvolvimento. Assim, a primeira etapa do projeto termina com a apresentação da lista de requisitos do projeto, ou seja, as exigências básicas, técnicas e específicas que devem ser consideradas no desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado.

A segunda etapa (Fase II) tem a finalidade de apresentar de forma clara o conceito do sistema logístico automatizado, ou seja, é a definição preliminar de uma solução em que são estabelecidas as principais características funcionais do sistema logístico automatizado. Esta etapa inicia-se com a aplicação da técnica de abstração que visa reduzir a complexidade do problema e determinar a função global do projeto, ou seja, o objetivo essencial do projeto. Em seguida a função global do projeto é decomposta em subfunções primárias e secundárias para facilitar a busca de princípios de solução que contribuam para atender a função global do projeto. Assim, são listados os princípios de solução possíveis de serem utilizados em cada subfunção. No entanto, é necessário avaliar de forma qualitativa com base nos requisitos de projeto cada estrutura de funcionamento apresentada. Desta avaliação restará um grupo de soluções com maior potencial de atender cada subfunção.

Em seguida, selecionando uma solução para cada subfunção obtém-se uma combinação de soluções para o projeto denominada de variante de solução. As variantes de solução obtidas deverão ser avaliadas de forma quantitativa de acordo com a VDI 2225, a qual estabelece uma pontuação com escala de valores de 0 a 4 pontos para cada exigência, onde a pontuação “0” expressa o não atendimento do requisito e a pontuação “4” expressa o perfeito atendimento do requisito (PAHL et al., 2005). A variante de solução que obter a maior pontuação será selecionada, pois significa que melhor atende os critérios de projeto do sistema logístico automatizado. Desta forma, a partir da variante de solução selecionada obtém-se o conceito do projeto do sistema logístico automatizado, apresentando o detalhamento das soluções para cada subfunção do projeto de forma descritiva e também através de imagem.

A terceira etapa (Fase III) tem o propósito de apresentar a estrutura construtiva do

projeto, partindo da solução preliminar e baseando-se em critérios técnicos e econômicos. Assim, será apresentado as especificações técnicas dos equipamentos utilizados e o detalhamento da forma de funcionamento dos transportadores, do sistema de armazenagem e do software de gerenciamento. Na sequência será realizada uma simulação computacional do sistema logístico automatizado no software Plant Simulation. Ao implementar a proposta do sistema logístico automatizado neste software, será possível realizar uma análise do número de transportadores necessários neste projeto e da capacidade requerida no sistema de armazenagem em função da demanda produtiva. E também permitirá a realização de uma avaliação comparativa de desempenho do sistema logístico automatizado em relação ao estado produtivo atual, possibilitando destacar os principais benefícios que serão obtidos com a implantação do sistema logístico automatizado.

Por fim, a quarta etapa (Fase IV) visa apresentar o projeto detalhado, ou seja, será apresentado o layout final do sistema logístico automatizado com a relação de equipamentos utilizados. Desta forma, o projeto estará pronto para ser implementado no processo produtivo desta indústria moveleira. A seguir é apresentado detalhadamente cada uma destas etapas do projeto.

3.1 Primeira fase: planejamento do produto e esclarecimento da tarefa

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados para ambientes profissionais e colaborativos, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. Os produtos embalados e depositados sobre paletes que devem ser identificados e transportados até uma área de armazenagem são originados de 5 setores de montagem distribuídos na planta fabril. O projeto visa eliminar a necessidade da ação dos colaboradores para realizar as atividades de transporte e identificação dos produtos, garantindo rastreabilidade, confiabilidade e eficiência na realização das operações. O projeto pode ser considerado adaptativo, pois o princípio de solução disponível comercialmente é preservado e somente sua configuração é adaptada às novas condições periféricas.

São utilizados 44 tipos de embalagens de papelão para acondicionar os produtos. A Tabela 1 apresenta as informações dimensionais de largura, comprimento e altura destas embalagens, a quantidade em percentual demandada de cada item em três anos (2019, 2020 e 2021) e o respectivo setor de montagem utilizado. Observa-se que a embalagem 4986.001 possui a maior dimensão (810 x 870 x 2050 mm) e a embalagem 3289.002 possui a menor dimensão (50

x 400 x 465 mm). A quantidade percentual de embalagens movimentadas em cada um dos setores de montagem P1, P2, P3, P4 e P5 são respectivamente de 4,22%, 26,03%, 14,23%, 30,29% e 25,23%.

Tabela 1 - Embalagens utilizadas para acondicionar os produtos

Embalagem	Dimensão (mm)	Quant. (%)	Setor	Embalagem	Dimensão (mm)	Quant. (%)	Setor
4820.001	320 x 630 x 630	26,030%	P2	2349.001	630 x 700 x 915	0,752%	P4
2248.001	340 x 630 x 690	13,235%	P4	1627.001	650 x 700 x 1120	0,683%	P4
3289.002	50 x 400 x 465	9,459%	P4	3358.001	340 x 630 x 940	0,595%	P4
1902.001	380 x 630 x 630	6,950%	P5	3645.001	750 x 800 x 1300	0,590%	P1
2112.001	600 x 700 x 969	5,548%	P4	3646.001	750 x 800 x 850	0,421%	P1
3394.001	380 x 630 x 780	5,094%	P5	1998.001	470 x 710 x 1120	0,368%	P5
2984.001	580 x 650 x 900	4,247%	P3	5406.002	435 x 455 x 455	0,341%	P1
0057.001	440 x 490 x 670	3,796%	P5	3014.001	550 x 560 x 600	0,307%	P3
0060.001	400 x 635 x 635	2,378%	P5	3296.001	490 x 720 x 970	0,258%	P5
0869.001	690 x 770 x 790	2,062%	P1	3644.001	750 x 800 x 1800	0,208%	P1
3034.001	530 x 660 x 950	1,908%	P3	4713.002	620 x 720 x 730	0,187%	P1
2360.001	260 x 370 x 370	1,883%	P5	0058.001	210 x 560 x 550	0,154%	P5
3563.002	160 x 630 x 630	1,665%	P5	6639.001	530 x 550 x 845	0,130%	P3
1565.001	440 x 490 x 750	1,516%	P5	4727.001	800 x 850 x 1700	0,105%	P1
2985.001	580 x 580 x 800	1,497%	P3	5334.001	240 x 730 x 1380	0,101%	P1
0637.001	420 x 420 x 590	1,261%	P3	5315.001	430 x 1060 x 1220	0,074%	P1
0059.001	400 x 570 x 570	1,165%	P5	2325.001	300 x 630 x 1950	0,069%	P1
2136.002	310 x 405 x 470	1,137%	P3	5805.001	100 x 710 x 1210	0,040%	P1
2137.002	305 x 305 x 470	1,125%	P3	6639.002	550 x 530 x 845	0,035%	P3
0638.001	270 x 360 x 600	0,903%	P3	4986.001	810 x 870 x 2050	0,025%	P1
4702.001	470 x 640 x 900	0,900%	P3	3668.001	390 x 475 x 725	0,021%	P4
3033.001	580 x 620 x 1140	0,775%	P3	1853.002	175 x 520 x 520	0,003%	P3

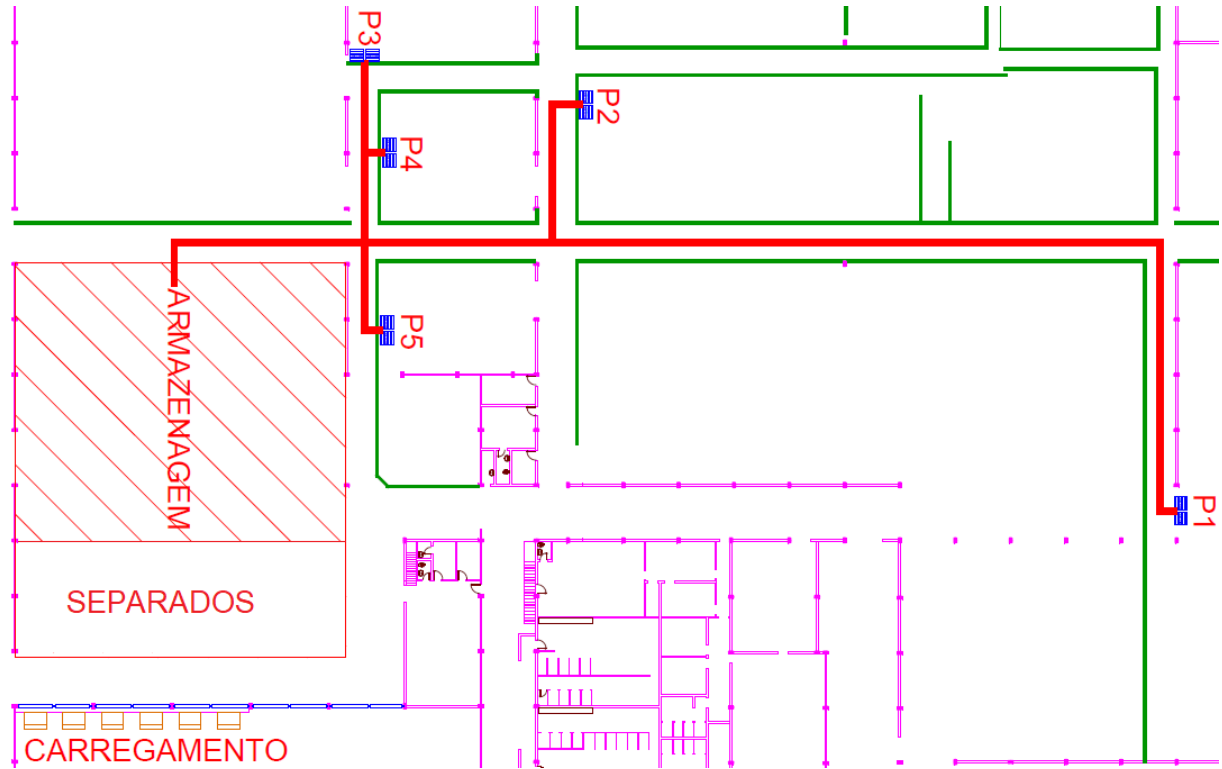
Fonte: Autor (2022)

O armazém tem a finalidade de estocar os produtos até o momento de estarem aptos para serem expedidos, ou seja, que todos os produtos de uma carga estejam produzidos e também em função do planejamento entre a produção e o carregamento possuir uma diferença de tempo de um dia útil. Atualmente o processo de transporte dos produtos embalados sobre paletes é realizado manualmente com o auxílio de empilhadeiras elétricas e paleteiras manuais até o armazém. Posteriormente, neste armazém ocorre a localização e separação dos produtos que deverão ser expedidos. Este processo é realizado de forma manual pelos colaboradores por meio da conferência das etiquetas de identificação fixadas sobre as embalagens.

A área de armazenagem atual dos produtos possui aproximadamente 700 m² e comporta 200 paletes distribuídos somente ao nível do piso. Atualmente, em virtude da localização e separação dos produtos a serem expedidos ser executada de forma manual por 3 colaboradores em tempo integral, torna-se inviável implementar prateleiras para estocar em vários níveis de armazenagem. A Figura 24 ilustra o trajeto de movimentação dos produtos paletizados dos 5 setores de montagem (P1 - P5) até a área de armazenagem. Após a área de armazenagem tem-

se a área destinada aos produtos separados que serão expedidos e área de carregamento dos produtos nos caminhões. A área destinada aos produtos separados possui uma capacidade de 78 paletes ao nível do piso.

Figura 24 - Trajetória dos produtos paletizados dos setores de montagem ao armazém



Fonte: Autor (2022)

O processo operacional atual exige que 5 colaboradores sejam responsáveis por realizar o transporte dos produtos em paletes dos setores de montagem até o local de armazenagem de forma intermitente, ou seja, conforme a demanda. O transporte é realizado com a utilização de 2 empilhadeiras elétricas que possuem a velocidade máxima de deslocamento de 80 m/min e a velocidade máxima de elevação de carga de 10 m/min e também por 3 paleteiras manuais que possuem a velocidade máxima de deslocamento de 50 m/min e a velocidade máxima de elevação de carga de 1,2 m/min, conforme as informações apresentadas na especificação técnica destes equipamentos. A Tabela 2 apresenta a distância entre cada setor de montagem até o centro da área disponível para a armazenagem. Observa-se que a distância a ser percorrida pelos transportadores varia de 42 a 134 metros de acordo com o setor de montagem selecionado.

Tabela 2 - Distância do setor de montagem até centro do armazém

Montagem	Distância (m)
P1	134
P2	65
P3	50
P4	42
P5	42

Fonte: Autor (2022)

Portanto, os principais problemas a serem solucionados com a implantação deste projeto de automação são:

- Eliminação de movimentações desnecessárias dos produtos embalados;
- Dificuldade e demora na localização dos produtos embalados no armazém;
- Erros de identificação dos produtos e envio indevido ao cliente;
- Falta de espaço de armazenagem dos produtos paletizados;
- Dependência do trabalho humano para executar as atividades de movimentação, armazenagem, identificação e separação dos produtos paletizados.

3.1.1 Técnica do cenário e da linha mestra

A aplicação da técnica do cenário e da linha mestra é essencial ao projeto por garantir a qualidade ao longo de todo o processo de desenvolvimento do projeto. Pois estas duas técnicas permitem apontar as características principais na forma de grandezas e condições que influenciam na concepção do projeto e estão relacionadas como diretrizes através de variáveis condicionantes. Para Pahl et al. (2005), os objetivos e as condicionantes sob os quais os requisitos devem ser atendidos precisam ser apresentados claramente, e a solução de problemas técnicos é determinada pelos objetivos a serem atingidos e pelas condicionantes restritivas que são derivadas de características que atuam sobre as estruturas de função, funcionamento e construção.

As características principais apresentadas através da técnica do cenário e da linha mestra nortearão a elaboração dos requisitos para o projeto, tornando-se grandezas e condições que influenciarão no desenvolvimento e implementação do sistema logístico automatizado. Assim, o Quadro 3 apresenta a aplicação da técnica do cenário contendo as características e considerações dos principais tópicos das etapas de instalação, operação e descarte do sistema logístico automatizado e que deverão ser consideradas na elaboração da lista de requisitos deste projeto.

Quadro 3 - Aplicação da técnica do cenário no projeto do sistema logístico automatizado

Fase	Tópicos	Considerações
Instalação	Fornecedores	Utilizar equipamentos e sistemas disponíveis no mercado
	Custos	Atender as necessidades do projeto com o menor investimento
	Materiais	Utilizar materiais leves, resistentes a tração, ao impacto e a fadiga
	Montagem	Utilizar elementos de união que permitam a simples montagem/desmontagem
Operação	Utilização	Fácil operação e programação Fácil integração com sistemas ERP Baixo consumo energético Fácil aquisição de dados Alto controle do sistema automatizado Baixa necessidade de manutenções Fácil implementação de mudanças e/ou ampliações
	Segurança	Utilizar sensores de detecção de obstáculos e colisões Utilizar botões de parada de emergência Utilizar sinalizações de segurança
Descarte	Materiais	Utilizar materiais que possam ser reciclados ou reutilizados
	Estrutura	Elementos de união adequados a desmontagem Evitar partes cortantes

Fonte: Autor (2022)

O Quadro 4 apresenta a aplicação da técnica da linha mestra contendo as principais características e as respectivas variáveis condicionantes que deverão ser consideradas na elaboração da lista de requisitos do sistema logístico automatizado.

Quadro 4 - Linha mestra do projeto do sistema logístico automatizado

Característica principal	Variáveis condicionantes
Geometria	Altura, largura, comprimento, demanda de espaço, quantidade, disposição
Cinemática	Tipo de movimento, direção do movimento, velocidade, aceleração
Carga	Peso, volume, quantidade
Energia	Potência, eficiência, energia de abastecimento
Materiais	Propriedades físicas dos produtos
Sinal	Sinais de entrada e saída, tipo de leitor, monitoramento, alcance, capacidade
Software	Sistema de gerenciamento
Segurança	Sistemas protetores, segurança do trabalho
Ergonomia	Relação homem-máquina: formas de operação
Montagem	Prescrições de montagem, bases dos equipamentos
Operação	Aplicação e domínio de utilização, condições de uso
Manutenção	Intervalo de revisão, inspeção, conserto
Custos	Investimentos

Fonte: Autor (2022)

A técnica da linha mestra trata de várias características importantes do projeto, como por exemplo, a geometria, pois o projeto necessariamente precisa atender às características geométricas dos produtos que deverão ser transportados e o sistema de gerenciamento, pois deve monitorar em tempo real a identificação e localização dos produtos. Portanto, a aplicação destas duas ferramentas permite elaborar as primeiras recomendações para o projeto do sistema logístico automatizado, ainda que de forma qualitativa, mas que deverão ser consideradas como

norteadoras na etapa de elaboração da lista de requisitos.

3.1.2 Estabelecimento dos requisitos de projeto

A lista de requisitos é proveniente da técnica do cenário e da linha mestra, a qual contém as condicionantes que derivam nas principais características que atuarão sobre as estruturas de função, funcionamento e construção do sistema. A lista de requisitos contém as exigências básicas, técnicas e específicas e serve de referência para o desenvolvimento do projeto. Portanto, contém as principais características que o sistema deve possuir e deve ser observada durante todo o processo de desenvolvimento do produto. Com base na proposta de Pahl et al. (2005), as principais características do produto são detectadas, analisadas e classificadas através das características da técnica do cenário, a técnica da linha mestra e da revisão bibliográfica.

O Quadro 5 apresenta os requisitos do projeto organizados da seguinte forma: na primeira coluna constam as características principais da linha mestra; na segunda encontram-se a classificação das características do produto analisadas em duas categorias, requisitos desejados (representado pela letra D) ou exigidos (representado pela letra E) e na terceira coluna encontra-se a lista dos requisitos.

Quadro 5 - Lista de requisitos do projeto (continua)

Projeto: sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos		
Linha Mestra	D/E	Requisitos
Geometria	E	1) A dimensão do palete padrão utilizado é de 1,20 x 1,20 x 0,12 m, que deverá ser transportado e armazenado.
	E	2) A maior dimensão da embalagem que deverá ser transportada e armazenada é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.
	E	3) O deslocamento máximo necessário desde o setor de montagem dos produtos até a área de armazenagem para a expedição é de 134 m.
	E	4) A altura útil do prédio a ser instalado o sistema de armazenamento é de 6,30 m.
	D	5) A área total atualmente disponível para implementar o sistema de armazenagem é de 750 m ² .
Cinemática	D	1) A velocidade mínima que os transportadores deverão possuir é de 100 m/min.
	D	2) A altura mínima que os transportadores deverão ter a capacidade de elevar a carga no sistema de armazenagem é de 5,0 m.
Carga	E	1) O peso máximo de um palete que deverá ser transportado e armazenado é de 250 kg.
	E	2) O maior volume unitário a ser transportado e armazenado é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.
	E	3) A capacidade mínima de movimentação e armazenagem de paletes diária é de 431 unidades ou 3000 embalagens.
Energia	D	1) Os equipamentos utilizados deverão possuir alta eficiência energética, ou seja, baixo consumo de energia.
	D	2) Os equipamentos utilizados para realizar o transporte dos paletes deverão possuir uma autonomia da carga da bateria de no mínimo 10 horas, ou seja, um turno de trabalho.

Quadro 5 - Lista de requisitos do projeto (conclusão)

Linha Mestra	D/E	Requisitos
Materiais	E	1) Os dispositivos e equipamentos utilizados deverão atender as necessidades e aos esforços que estarão submetidos diariamente.
Sinal	E	1) Deverá ser instalado dispositivos de aquisição de dados, sensores e um sistema de gerenciamento dos movimentadores e do sistema de armazenagem, a fim de conseguir ter as informações em tempo real de todo o sistema implementado.
	E	2) Sistema de identificação/localização dos produtos: deverá ser implementado recursos tecnológicos que possibilitem a rastreabilidade de todos os produtos que serão processados pelo sistema.
Software	E	1) Sistema de gerenciamento e controle em tempo real: deverá permitir o monitoramento e gerenciamento em tempo real dos produtos em transporte/armazenados e sua localização dentro do armazém, além de possibilitar a emissão de relatórios da situação dos transportadores e do armazém.
Segurança	E	1) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão atender as normas vigentes de segurança, tais como: - NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade; - NR 11: Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais; - NR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos; - NR 17: Ergonomia; - NR 26: Sinalização de segurança.
	E	2) Dispositivos de segurança: os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir dispositivos de segurança, tais como sensores e sistemas de parada de emergência.
	E	3) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir proteção de partes móveis que os trabalhadores possam ter contato.
Ergonomia	E	1) Atender as normas e condições ergonômicas dos itens que necessitem interação com o ser humano (NR 17).
Montagem	D	1) Os equipamentos, dispositivos e estruturas do armazém deverão ser fixados preferencialmente por parafusos, a fim de facilitar o trabalho e ser flexível a mudanças.
Operação	E	1) Sistema de identificação automático dos produtos: o sistema deverá estar equipado e configurado de modo a identificar automaticamente os produtos e as respectivas dimensões da embalagem, a fim de definir o melhor lugar de armazenagem, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.
	E	2) O sistema deverá estar apto a realizar o carregamento automático dos paletes no transportador, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.
	E	3) O sistema deverá estar apto a realizar o transporte dos paletes do setor de montagem até o armazém sem a necessidade de um colaborador, ou seja, de forma automática.
	E	4) O sistema deverá estar apto a realizar o endereçamento automático dos paletes no armazém com base nas informações dimensionais das embalagens presentes no palete e a programação de saída do palete do armazém.
Manutenção	D	1) O tempo mínimo entre cada manutenção preventiva deverá ser de no mínimo 1 mês, ou seja, alta robustez e baixa intervenção técnica.
	D	2) Facilidade de execução da manutenção preventiva: facilidade ao acesso dos componentes com necessidade de manutenção e averiguação de defeitos através do sistema do equipamento.
	D	3) Facilidade de adquirir os componentes que estarão sujeitos a uma menor vida útil e facilidade de realizar a sua substituição.
Custos	D	1) O custo total do sistema automatizado deverá ser o mínimo possível para atender os requisitos de projeto de maneira eficiente, devendo estar alinhado com o planejamento estratégico da empresa e a previsão de investimento.
	D	2) O sistema deverá possuir baixo custo de manutenção, ou seja, baixa necessidade de intervenção humana para que possa operar de forma eficiente.

Fonte: Autor (2022)

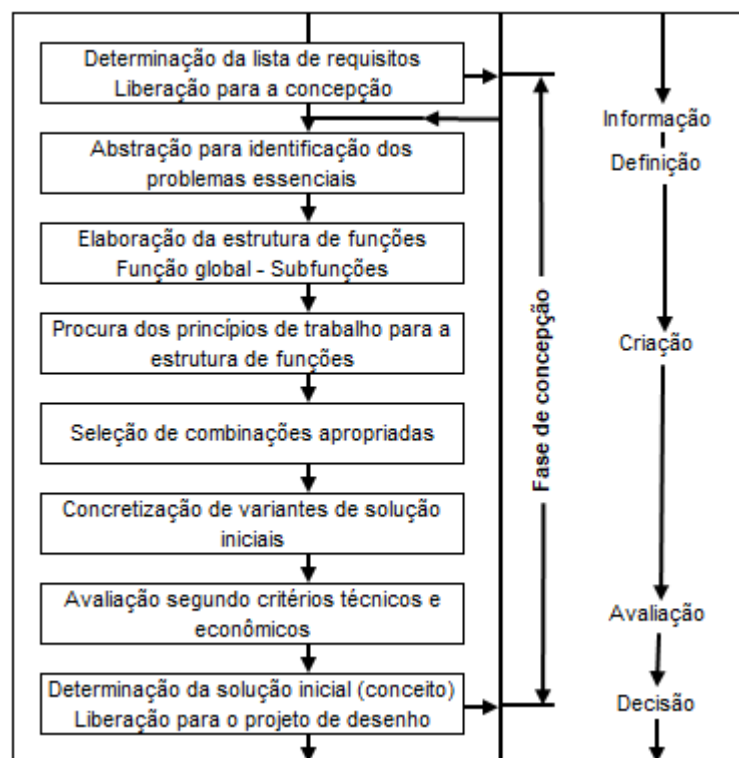
Os requisitos de projeto apresentados no Quadro 5 contemplam as necessidades, exigências e desejos para o sistema logístico automatizado a ser projetado, visando incorporar

as características necessárias para uma operação eficiente e segura. Após a elaboração da lista de requisitos, as metas básicas para o projeto foram estabelecidas, considerando necessidades obrigatórias e características desejáveis para a configuração do sistema logístico automatizado, que na medida do possível serão materializadas em forma de soluções técnicas para o projeto. Tais requisitos foram determinados através de aspectos quantitativos e qualitativos, embasados na necessidade da indústria moveleira e no estudo bibliográfico realizado, viabilizando a etapa de projeto conceitual a seguir apresentada.

3.2 Segunda fase: projeto conceitual do sistema automatizado

Seguindo as definições da lista de requisitos inicia-se a segunda fase do desenvolvimento de projeto. Nesta etapa busca-se clareza das informações para que o projeto conceitual seja concebido, ou seja, é a definição preliminar de uma solução em que são estabelecidas as principais características funcionais do sistema logístico automatizado. A Figura 25 apresenta o fluxograma das etapas do projeto conceitual sugeridas por Pahl et al. (2005) e que serão empregadas para obter-se o conceito do sistema logístico automatizado.

Figura 25 - Fluxograma das etapas do projeto conceitual



Fonte: Pahl et al. (2005)

A etapa do projeto conceitual inicia-se pela abstração, que permite compreender o

problema e estabelecer a função global, seguida pela formação da estrutura de funções e o desdobramento em funções principais e secundárias, após busca-se pelos princípios de funcionamento, a concretização em variantes de concepção, a avaliação das principais variantes e finaliza-se com a obtenção do conceito do projeto.

3.2.1 Técnica da abstração

O objetivo da abstração é evitar convenções que impediriam soluções não convencionais, que poderiam ser melhores e mais econômicas. Pahl et al. (2005) afirmam que se a abstração for realizada corretamente, a função global e as principais condicionantes que caracterizam o problema de projeto são identificáveis. Os autores apresentam um procedimento para obter-se uma estrutura de pensamento através da abstração através de cinco passos:

1º Passo: Suprimir vontades mentalmente;

2º Passo: Somente considerar requisitos que afetam as funções e principais condicionantes;

3º Passo: Converter dados quantitativos em qualitativos;

4º Passo: Ampliar de forma adequada o que foi percebido;

5º Passo: Formular o problema de forma neutra quanto à solução.

Desta forma, o Quadro 6 apresenta a aplicação das cinco etapas do processo de abstração buscando reduzir a complexidade do problema e também destaca as particularidades importantes do projeto de um sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. No Quadro 6 os primeiros dois passos apresentam os principais requisitos deste projeto, no terceiro passo os dados quantitativos foram transformados em dados qualitativos, no quarto passo os dados qualitativos foram convertidos em informações fundamentais ao projeto e no quinto passo é apresentado a necessidade primordial que deverá ser atendida neste projeto.

Quadro 6 - Aplicação da técnica de abstração

Resultado do 1º e 2º passos
<ul style="list-style-type: none"> - Palete utilizado: 1,20 x 1,20 m - Maior embalagem utilizada: 0,81 x 0,87 x 2,05 m - Capacidade de elevação de carga mínima de 5,0 m de altura - Carga máxima por palete: 250 kg - Número mínimo de paletes/dia movimentados: 431 unidades - Distância de até 134 m entre o setor de origem do palete e o local de armazenamento - Monitoramento em tempo real do sistema - Sistema de identificação/localização dos produtos - Atender as normas vigentes de segurança e ergonomia - Sistema de identificação automático dos produtos - Sistema de carregamento, transporte e endereçamento automático de paletes
Resultado do 3º passo
<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes tamanhos de embalagens - Diferentes cargas por palete - Diferentes alturas de armazenamento - Diferentes distâncias a transportar o palete - Diferentes quantidades de paletes movimentados diariamente - Monitoramento dos movimentadores e do armazém - Rastreabilidade dos produtos
Resultado do 4º passo
<ul style="list-style-type: none"> - Embalagens variáveis - Cargas variáveis - Transporte de paletes de locais e distâncias variáveis - Armazenamento em alturas variadas - Precisão funcional
Resultado do 5º passo
Armazenar produtos paletizados de forma autônoma

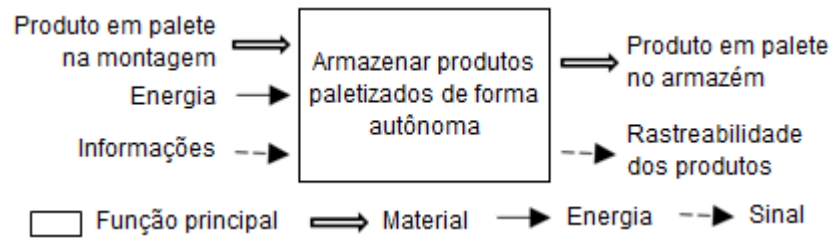
Fonte: Autor (2022)

Considerando o contexto do projeto, após a aplicação da técnica da abstração foi possível identificar a função global, ou seja, “armazenar produtos paletizados de forma autônoma”.

3.2.2 Decomposição da função global

A função global consiste na elaboração de uma estrutura funcional que contemple as principais funções do equipamento, auxiliando no seu desenvolvimento. Pahl et al. (2005) recomendam que seja realizada por variáveis de entrada, conversão ou transformação de algum material, energia ou sinal e após as variáveis de saída, todo esse processo deve ser feito da forma mais simples possível. Neste sentido, a Figura 26 apresenta as variáveis de entrada e as variáveis de saída da função global do sistema logístico automatizado.

Figura 26 - Função global do sistema logístico automatizado



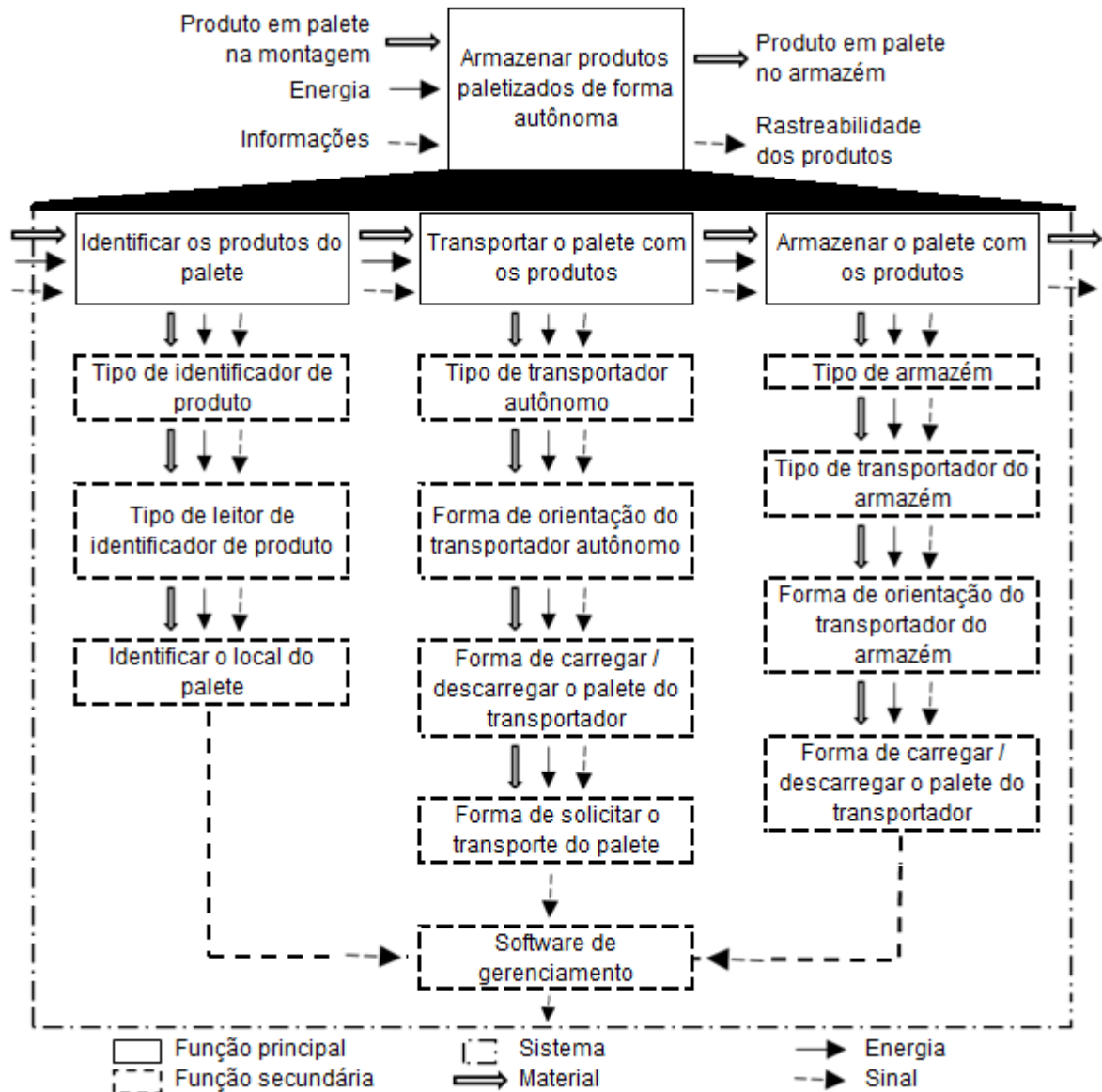
Fonte: Autor (2022)

A estrutura funcional origina-se da função global do projeto que foi obtida através da aplicação da técnica da abstração, ou seja, armazenar produtos paletizados de forma autônoma. Neste projeto as variáveis de entrada de matéria, energia e sinal são respectivamente os produtos em paletes nos setores de montagem, a energia elétrica e as informações originadas de todo o sistema. Tais informações estão relacionadas a identificação dos produtos depositados nos paletes, solicitações de transporte dos paletes, localização dos transportadores e paletes armazenados. E após a execução dos processos envolvidos para a realização da função global, as variáveis de saída são respectivamente os produtos em paletes depositados no armazém e as informações de rastreabilidade dos produtos.

A partir da identificação da função global do sistema automatizado de logística interna para produtos paletizados de uma indústria moveleira, dando sequência a aplicação dos procedimentos metodológicos, Pahl et al. (2005) recomendam decompor a função global sucessivamente em funções mais simples, funções parciais e até ao nível de funções elementares, para assim encontrar a solução de maneira mais fácil. Para isso, foi utilizada a técnica do desdobramento da função global, aqui adaptada para se obter as subfunções do sistema para que atenda às necessidades elencadas, simulando mentalmente a sequência de utilização em condições normais, para assim montar a estrutura de funções que ligam as entradas as saídas de cada etapa de utilização.

Através de um diagrama de blocos é possível organizar visualmente a estrutura funcional do equipamento, mesmo sem ainda ter a definição de aspectos formais, facilitando a posterior busca por soluções para subfunções, que interligadas, definem a solução para o problema principal do projeto. A Figura 27 apresenta a estrutura de funções desenvolvida para o sistema logístico automatizado a partir da metodologia proposta por Pahl et al. (2005).

Figura 27 - Estrutura de funções do projeto



Fonte: Autor (2022)

Da função global derivam três subfunções principais responsáveis pelas principais operações a serem realizadas no sistema: identificar os produtos do palete, transportar o palete com os produtos e armazenar o palete com os produtos. A partir dessa categorização, cada subfunção foi desdobrada, obtendo-se as tarefas (subfunções secundárias) responsáveis pelo atendimento das necessidades específicas que ao final tornarão possível a execução da função global.

Conforme ilustra o fluxograma, as subfunções principais são de suma importância para o funcionamento do sistema automatizado de logística para produtos acabados, enquanto as subfunções secundárias fornecem as condições necessárias para alcançar este objetivo. As subfunções secundárias foram elaboradas a partir dos requisitos exigidos em cada subfunção

principal a fim de convergir à função global. Após a estruturação das funções do sistema, pode-se detalhar cada uma delas, conforme apresentado a seguir:

1) Identificar os produtos do palete: Cada setor específico de montagem deverá receber juntamente com a ordem de produção, o layout de paletização destes produtos agrupados por pedido, ou seja, o planejamento da posição dos produtos no palete será executado através do software de gerenciamento do armazém juntamente com o sistema ERP da empresa. O produto embalado e com uma etiqueta de identificação será alocado no palete de forma manual por um dos colaboradores do setor de montagem. Em cada setor de montagem deve haver dois locais marcados no piso (Local A e Local B) correspondente a dimensão do palete utilizado, a fim de determinar o lugar em que o palete deve ser posicionado para receber os produtos. Ao iniciar o carregamento dos produtos no palete, o software de gerenciamento do sistema automatizado deve receber esta informação e por meio dos leitores de etiquetas de identificação deste local será coletado as informações sobre os produtos colocados neste palete, confirmando o planejamento produtivo.

Desta forma, durante o processo de posicionamento dos produtos no palete, o leitor de etiquetas de identificação detecta a quantidade e o tipo de produto, bem como o local deste palete (Local A e Local B). Estas informações são enviadas ao software de gerenciamento do sistema automatizado, possibilitando um controle e rastreabilidade em tempo real do processo produtivo. No momento em que o carregamento dos produtos no palete estiver finalizado, o software de gerenciamento deverá receber esta informação e realizará de forma automática a solicitação para um transportador autônomo realizar a operação de transporte deste palete.

2) Transportar o palete com os produtos: O transporte dos paletes de produtos será realizado por transportadores autônomos. O software de gerenciamento do sistema automatizado controla as ações dos transportadores, determina qual transportador deve buscar o palete nos setores de montagem e o local de destino do palete na área de recebimento do armazém.

Desta forma, quando o software de gerenciamento do sistema automatizado recebe a informação da necessidade de transporte de um palete, ocorre uma análise da programação das tarefas dos transportadores e determina-se qual transportador executará a atividade. Assim, o transportador autônomo deve deslocar-se até o local em que o palete se encontra em um dos setores de montagem, realizará a elevação do palete sobre a sua estrutura e iniciará o deslocamento em direção ao local determinado na área de recebimento dos paletes no armazém. Ao chegar neste local, o transportador deve realizar a descida do palete que se encontra sob sua estrutura e realizará a próxima tarefa determinada pelo software de gerenciamento do sistema

automatizado ou deverá se deslocar ao local destinado à espera de tarefas.


3) Armazenar o palete com os produtos: O modelo de armazém adotado no sistema de armazenagem definirá qual a melhor opção de transportador a ser adotado no armazém. Quando o software de gerenciamento do sistema automatizado recebe a informação da necessidade de transporte de um palete, ocorre uma análise da programação das tarefas dos transportadores e determina-se qual transportador executará a atividade. Assim, o transportador autônomo deve deslocar-se até o local em que o palete se encontra na área de recebimento do armazém, realizará a elevação do palete sobre a sua estrutura e iniciará o deslocamento em direção ao local de armazenagem determinado no sistema porta palete. Ao chegar neste local, o transportador deve realizar a descida do palete que se encontra sob sua estrutura e realizará a próxima tarefa determinada pelo software de gerenciamento do sistema automatizado ou deverá se deslocar ao local destinado à espera de tarefas. O local de armazenagem do palete de produto no sistema porta palete deverá ser determinado em função do tipo de produto sobre o palete. Porém, preferencialmente agrupando a armazenagem dos paletes de um pedido no mesmo corredor de prateleiras.

Portanto, o sistema logístico automatizado permitirá o monitoramento em tempo real das atividades realizadas no sistema e fornecerá com precisão a localização dos produtos, pois todas as informações estarão centralizadas em um software de gerenciamento comandará as ações dos transportadores. Isto permitirá uma maior agilidade e confiabilidade no momento de expedir os produtos.




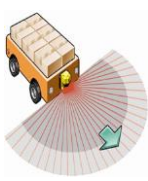






3.2.3 Princípios de solução para as subfunções

A partir da identificação das subfunções do projeto do sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados é possível iniciar a busca por soluções específicas para cada uma delas, mas com visão sistêmica para o funcionamento de todo o conjunto. Assim, aplica-se o esquema classificador denominado “Matriz Morfológica”, ou “Caixa de Zwicky”, sugerido por Pahl et al. (2005), buscando uma possível estrutura de funcionamento como solução global. As subfunções elencadas anteriormente foram organizadas na matriz morfológica apresentada no Quadro 7, iniciando-se a busca por princípios de solução.

Quadro 7 - Matriz morfológica do projeto do sistema logístico automatizado (continua)

Subfunções	Princípios de solução		
	A	B	C
1 Tipo de identificador de produto	 Código de barras - 1D	 Código de barras - 2D	 RFID
2 Tipo de leitor de identificador de produto	 Leitor de código de barras - 1D	 Leitor de código de barras - 2D	 Leitor de tags RFID
3 Identificar o local do palete	 Computador	 Leitor de etiquetas de identificação	 Sistema de visão - câmera
4 Tipo de transportador autônomo	 Empilhadeira AGV	 Paleteira AMR	 Empilhadeira AMR
5 Forma de orientação do transportador autônomo	 Orientação óptica por fita demarcada no piso	 Orientação indutiva por fita metálica no piso	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
6 Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
7 Forma de solicitar o transporte do palete	 Software de gerenciamento		
8 Tipo de armazém	 Porta palete convencional	 Porta palete base móvel	 Armazém automático

Quadro 7 - Matriz morfológica do projeto do sistema logístico automatizado (conclusão)

Subfunções		Princípios de solução		
		A	B	C
9	Tipo de transportador do armazém	 Empilhadeira AGV	 Empilhadeira AMR	 Transelevador
10	Forma de orientação do transportador do armazém	 Orientação óptica	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Sistema de controle do transelevador
11	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
12	Software de gerenciamento	 Easy WMS	 Senior WMS	 HighJump WMS

Fonte: Autor (2022)

A seguir segue a descrição dos princípios de solução apresentados no Quadro 6:

1 - Tipo de identificador de produto: foram escolhidas três formas de identificação de produtos:

a) Código de barras - 1D: contém informação somente em uma direção, sendo constituído através de barras paralelas verticais e possui uma capacidade de armazenagem de cerca de 25 caracteres.

b) Código de barras - 2D: possui as informações contidas em duas direções, sendo a leitura feita em dois sentidos, com símbolos geralmente quadrados ou retangulares e que possuem elevada capacidade de armazenamento, cerca de 2000 caracteres.

c) RFID: essa tecnologia se baseia na comunicação entre tags e leitores através de antenas, que por meio de ondas de rádio enviam e recebem a informação. A principal vantagem desta forma de identificação deve-se a capacidade de detecção de informações, permitindo a contagem instantânea e simultânea de diversos itens, mesmo com o leitor de RFID a uma certa

distância do produto e sem “contato visual” com a etiqueta.

2 - Tipo de leitor de identificador de produto: foram indicados três dispositivos aptos a ler as etiquetas de identificação dos produtos:

a) Leitor de código de barras - 1D: é um leitor fixo de código de barras de uma dimensão por meio de fonte de luz à laser. O dispositivo é compacto e possibilita a leitura das etiquetas a uma distância de até 1 m e velocidades de até 700 varreduras por segundo.

b) Leitor de código de barras - 2D: é um leitor fixo de código de barras de uma dimensão por meio de fonte de luz à laser. O dispositivo é compacto e possibilita a leitura das etiquetas a uma distância de até 1 m e velocidades de até 700 varreduras por segundo.

c) Leitor de tags RFID: é um leitor fixo de tags RFID com capacidade de leitura de vários tags ao mesmo tempo e sem a necessidade de “contato visual” e físico com o tag, ou seja, permite a leitura à distância em função de operar através de ondas de rádio frequência. A distância entre a etiqueta RFID e o leitor pode ser de até 10 m.

3 - Identificar o local do palete: foram selecionadas três maneiras de informar ao software de gerenciamento do armazém qual a posição do palete (Local A e Local B) que receberá os produtos, estes dispositivos deverão ser instalados próximos aos locais de carregamento dos paletes em cada um dos setores de montagem:

a) Computador: através deste equipamento o colaborador poderá acessar uma interface do software de gerenciamento do armazém configurado para cada setor de montagem e que permite selecionar o local do palete que receberá os produtos.

b) Leitor de etiquetas de identificação: cada local de carregamento dos produtos no palete deverá conter um equipamento de leitura de etiquetas de identificação dos produtos. Desta forma, no momento em que ocorre a coleta da informação do produto que será carregado no palete, o software de gerenciamento do sistema automatizado recebe esta informação e conseqüentemente relaciona ao local que está posicionado o palete neste setor de montagem, ou seja, o local A ou o local B em função de haver um mapeamento do sistema automatizado.

c) Sistema de visão - câmera: o sistema de visão por câmera tem a finalidade de capturar a imagem de determinado local e através de seu sistema integrado processar as informações com base nos parâmetros configurados. Desta forma, fornecerá ao software de gerenciamento do sistema automatizado a informação do local que está posicionado o palete neste setor de montagem e que está recebendo os produtos embalados, ou seja, o local A ou o local B.

4 - Tipo de transportador autônomo: foram escolhidos três tipos de transportadores de paletes autônomos:

a) Empilhadeira AGV: são dispositivos de manuseio de materiais usados para o transporte de paletes em áreas automatizadas que se deslocam automaticamente seguindo uma trajetória traçada ou programada de antemão, possuem uma capacidade de carregamento de até 1000 kg e uma altura de elevação de até 5,0 m.

b) Paleteira AMR: são veículos que usam sensores e processadores de bordo para mover materiais de forma autônoma, sem a necessidade de guias físicos ou marcadores. Tais tecnologias empregadas permitem ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto. Este equipamento possui uma capacidade de carregamento de até 1000 kg e uma altura de elevação de até 0,21 m.

c) Empilhadeira AMR: são veículos que usam sensores e processadores de bordo para mover materiais de forma autônoma, sem a necessidade de guias físicos ou marcadores. Tais tecnologias empregadas permitem ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto. Este equipamento possui uma capacidade de carregamento de até 1000 kg e uma altura de elevação de até 5,0 m.

5 - Forma de orientação do transportador autônomo: foram selecionadas três maneiras de os transportadores autônomos receberem as orientações de posicionamento durante seu deslocamento:

a) Orientação óptica por fita demarcada no piso: na orientação óptica, sensores detectam uma faixa branca entre duas pretas, a demarcação pode ser realizada por pintura ou fitas de demarcação de piso. Esta forma de orientação é recomendada para áreas de pouco tráfego de empilhadeiras ou áreas exclusivas para rotas de AGVs.

b) Orientação indutiva por fita metálica no piso: na orientação indutiva, sensores detectam uma faixa metálica no piso, podendo esta ser uma simples fita de metal ou chapas com o recorte do percurso planejado. Esta forma de orientação é recomendada para áreas de pouco tráfego de empilhadeiras.

c) Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM: este tipo de orientação permite ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto. Estas tecnologias proporcionam uma movimentação precisa e permite ao equipamento escolher a melhor rota entre os pontos de passagem.

6 - Forma de carregar / descarregar o palete do transportador: a atividade de carregamento e descarregamento do palete do transportador será realizada através das hastes de elevação de carga dos próprios transportadores, por meio do sistema eletro-hidráulico dos equipamentos.

7 - Forma de solicitar o transporte do palete: a solicitação do transporte do palete

carregado com os produtos em cada setor de montagem será executada através do software de gerenciamento do sistema automatizado de forma automática. Devido haver uma programação do layout dos produtos que devem ser carregados em cada palete, ao ser finalizado o carregamento da última embalagem planejada no palete, o sistema automaticamente dispara a ordem de transporte aos transportadores autônomos.

8 - Tipo de armazém: foram escolhidos três tipos de armazenamento de paletes possíveis de serem aplicados ao modo de operação utilizado na indústria moveleira:

a) Porta palete convencional: este sistema de armazenamento é o método mais universal para o acesso direto e unitário a cada palete, permitindo a armazenagem de paletes de forma organizada e prática. A distribuição e altura das estantes são determinadas em função das características das empilhadeiras, dos produtos a serem armazenados e das dimensões do local.

b) Porta palete base móvel: este sistema de armazenagem permite compactar as estantes e aumentar a capacidade de armazenagem sem perder o acesso direto a cada palete. As prateleiras são instaladas sobre bases móveis automatizadas e guiadas que se deslocam lateralmente, assim suprime os corredores e no momento necessário abre-se o corredor no local necessário a operação.

c) Armazém automático: este sistema de armazenagem emprega soluções automatizadas para executar as operações de entrada, armazenagem e saída dos produtos paletizados do armazém através de transelevadores que se deslocam nos corredores e realizam os trabalhos de movimentação. Possuem alta densidade de armazenagem, tanto em metros quadrados quanto em altura (até 40 m) e os corredores onde operam podem ser muito estreitos (1,7 m).

9 - Tipo de transportador do armazém: foram selecionados três tipos de transportadores de paletes possíveis de serem implementados no armazém em função do tipo de armazém empregado:

a) Empilhadeira AGV: são dispositivos de manuseio de materiais usados para o transporte de paletes em áreas automatizadas que se deslocam automaticamente seguindo uma trajetória traçada ou programada de antemão, possuem uma capacidade de carregamento de até 1000 kg e uma altura de elevação de até 5,0 m.

b) Empilhadeira AMR: são veículos que usam sensores e processadores de bordo para mover materiais de forma autônoma, sem a necessidade de guias físicos ou marcadores. Tais tecnologias empregadas permitem ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto. Este equipamento possui uma capacidade de carregamento de até 1000 kg e uma altura de elevação de até 5,0 m.

c) Transelevador: são equipamentos desenvolvidos para o armazenamento automático de paletes que se deslocam nos corredores e realizam as funções de entrada, posicionamento e saída de mercadorias. Os transelevadores são instalados sobre trilhos para direcionar o seu deslocamento no corredor entre as prateleiras e também possuem um garfo giratório que permite que os paletes sejam movimentados em três direções, uma frontal e as outras duas laterais.

10 - Forma de orientação do transportador do armazém: foram selecionadas três maneiras de os transportadores autônomos receberem as orientações de posicionamento durante seu deslocamento no armazém:

a) Orientação óptica: na orientação óptica, sensores detectam uma faixa branca entre duas pretas, a demarcação pode ser realizada por pintura ou fitas de demarcação de piso. Através do processamento digital do sinal das imagens da linha guia no solo captadas pela câmera a bordo, o AGV guiado por visão pode obter o desvio da distância e do ângulo da linha guia, e realizar os ajustes da trajetória.

b) Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM: este tipo de orientação permite ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto. Estas tecnologias proporcionam uma movimentação precisa, permitindo ao equipamento escolher a melhor rota entre os pontos de passagem.

c) Sistema de controle do transelevador: para a localização e a extração da mercadoria ser realizadas de forma automática, o transelevador é controlado a partir do PLC (*Programmable Logic Controller*), ou seja, um computador se encarrega de controlar todas as máquinas do armazém. O transelevador recebe as ordens do sistema de gerenciamento através do microprocessador ou de um PLC integrado programável situado no quadro principal de comando.

11 - Forma de carregar / descarregar o palete do transportador: a atividade de carregamento e descarregamento do palete do transportador será realizada através das hastes de elevação de carga dos próprios transportadores, por meio do sistema eletro-hidráulico ou mecânico dos equipamentos.

12 - Software de gerenciamento: foram identificados três softwares de gerenciamento de armazém possíveis de serem implementados:

a) Easy WMS: controla e otimiza os processos e operações que ocorrem dentro de um armazém, permitindo o controle de estoque em tempo real e a integração com sistemas ERP. Possui a opção *on-premise*, na qual tanto o software quanto o hardware do sistema ficam alojados na empresa e a opção baseada em SaaS (*Software as a Service*), que trabalha em

Nuvem com uma interface 100% Web, o que permite que o sistema seja acessado por meio de qualquer navegador.

b) Senior WMS: organiza a armazenagem de acordo com uma série de dados, a fim de otimizar o espaço disponível e proporcionar maior agilidade na movimentação das mercadorias. O sistema estabelece a prioridade das ações, distribuindo tarefas automaticamente, com base nas exigências do setor e nos níveis de serviço pré-estipulados, o que reduz a ociosidade e aumenta a produtividade.

c) HighJump WMS: é customizável e permite upgrades de versão de forma simples, rápida e sem custo, além de não haver necessidade de reconfiguração ou correr o risco de perdas de dados. Por meio do cruzamento de diversos dados, como histórico de produtos, demandas, lead time e giro, o sistema otimiza a organização do armazém, maximizando o uso do espaço disponível e aumentando a produtividade.

3.2.4 Seleção de estruturas de funcionamento apropriadas

Com o objetivo de identificar as soluções compatíveis entre si e que atendam às exigências apresentadas na lista de requisitos e na função global do projeto aplicou-se uma análise qualitativa. A análise qualitativa permite filtrar de maneira rápida as soluções que melhor suprem a necessidade do projeto e conseqüentemente reduzir o número de variáveis para as próximas etapas do desenvolvimento do projeto. A análise das soluções propostas para cada subfunção são apresentadas no Quadro 8, identificando as que melhor satisfazem os principais condicionantes do projeto. O funcionamento da lista de avaliação das soluções ocorre da seguinte forma, foram feitas perguntas, tais como, se atende a lista de requisitos, se possui facilidade de implantação da solução, se é adequada aos aspectos funcionais e se há compatibilidade com critérios econômicos. A essas perguntas foram dadas respostas atendendo a uma simbologia, S (sim) ou N (não). Posteriormente, foi feita uma tomada de decisão, onde D significa (desclassificado) e C (classificado).

Quadro 8 - Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica do projeto (continua)

Projeto do sistema logístico automatizado							
Simbologia: (S) Sim / (N) Não / (C) Classificado / (D) Desclassificado							
Subfunções	Lista de soluções	Atende a lista de requisitos?					Decisão
		Possui facilidade de implantação?					
		É adequada aos aspectos funcionais?					
		Possui compatibilidade com os critérios econômicos?					
		Observações:					
1 - Tipo de identificador de produto	1 A	S	S	S	S		C
	1 B	S	S	S	S		C
	1 C	S	S	S	S		C
2 - Tipo de leitor de identificador de produto	2 A	S	S	S	S		C
	2 B	S	S	S	S		C
	2 C	S	S	S	S		C
3 - Identificar o local do palete	3 A	N	S	S	S	Necessidade do colaborador inserir a informação.	D
	3 B	S	S	S	S		C
	3 C	S	S	S	N	Maior custo de instalação em relação aos benefícios proporcionados nesta aplicação.	D
4 - Tipo de transportador autônomo	4 A	S	N	S	N	Necessidade de instalação de sistema físico para orientar-se, maior custo e tempo para alteração de layout.	D
	4 B	S	S	S	S		C
	4 C	S	S	S	S		C
5 - Forma de orientação do transportador autônomo	5 A	S	N	S	N	Sistema demarcado no piso, o que dificulta uma alteração rápida de layout e devido à alta circulação poderá necessitar de manutenção periódica resultando em maior custo.	D
	5 B	S	N	S	N	Sistema de embutido no piso, maior custo de implantação e dificulta uma alteração rápida de layout.	D
	5 C	S	S	S	S		C
6 - Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	6 A	S	S	S	S		C
7 - Forma de solicitar o transporte do palete	7 A	S	S	S	S		C
8 - Tipo de armazém	8 A	S	S	S	S		C
	8 B	S	N	N	N	Sistema de maior complexidade de instalação e maior dificuldade para alteração de layout. Devido a área de instalação ser pequena, o ganho de armazenagem relacionado com a eliminação de corredores fixos é muito pequeno em relação ao custo de instalação do sistema.	D
	8 C	S	N	N	N	Sistema de maior complexidade de instalação e maior dificuldade para alteração de layout. Devido a quantidade de paletes armazenados ser baixa e a altura do pé direito atual ser baixa, o custo de implantação deste sistema é inviável.	D
9 - Tipo de transportador do armazém	9 A	S	N	S	N	Necessidade de instalação de sistema físico para orientar-se, maior custo e tempo para alteração de layout.	D
	9 B	S	S	S	S		C
	9 C	S	N	N	N	Sistema de maior complexidade de instalação e maior dificuldade para alteração de layout. Devido a área de instalação ser pequena, o ganho de armazenagem relacionado com a eliminação de corredores fixos é muito pequeno em relação ao custo de instalação do sistema.	D

Quadro 8 - Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica do projeto (conclusão)






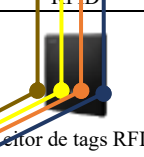



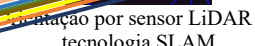








Projeto do sistema logístico automatizado							
10 - Forma de orientação do transportador do armazém	10 A	S	N	S	N	Necessidade de instalação de sistema físico para orientar-se, maior custo envolvido e dificuldade para alteração de layout.	D
	10 B	S	S	S	S		C
	10 C	S	N	N	N	Sistema de maior complexidade de instalação e maior dificuldade para alteração de layout. Devido a área de instalação ser pequena, o ganho de armazenagem relacionado com a eliminação de corredores fixos é muito pequeno em relação ao custo de instalação do sistema.	D
11 - Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	11 A	S	S	S	S		C
12 - Software de gerenciamento	12 A	S	S	S	S		C
	12 B	S	S	S	S		C
	12 C	S	S	N	S	Software menos robusto e funcional que os demais apresentados, dificultando o controle dos transportadores autônomos.	D

Fonte: Autor (2022)

Após a análise qualitativa apresentada no Quadro 8, as soluções com maior potencial de aplicação no projeto do sistema logístico automatizado foram agrupadas e realizando a combinação de soluções possíveis, obteve-se 12 variantes de soluções aplicáveis ao sistema logístico automatizado, conforme ilustrado no Quadro 9.

As 12 variantes de soluções que foram obtidas originaram-se da compatibilidade entre as tecnologias utilizadas na solução de cada subfunção. Ou seja, para identificar um produto embalado deve-se empregar o equipamento adequado ao tipo de etiqueta de identificação utilizada nos produtos. E em relação aos tipos de equipamentos para transportar os paletes e os softwares de gerenciamento do sistema logístico ambos são compatíveis aos sistemas de identificação de produtos propostos. Assim, as soluções propostas para as subfunções permitiram a obtenção destas 12 variantes de solução que na sequência serão avaliadas visando a obtenção da variante de solução que melhor atenda às necessidades e requisitos do projeto do sistema logístico automatizado.

Quadro 9 - Princípios de soluções remanescentes e suas combinações após avaliação qualitativa

Subfunções		Princípios de solução		
		A	B	C
1	Tipo de identificador de produto	 Código de barras - 1D	 Código de barras - 2D	 RFID
2	Tipo de leitor de identificador de produto	 Leitor de código de barras - 1D	 Leitor de código de barras - 2D	 Leitor de tags RFID
3	Identificar o local do palete		 Leitor de etiquetas de identificação	
4	Tipo de transportador autônomo		 Paleteira AMR	 Empilhadeira AMR
5	Forma de orientação do transportador autônomo			 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
6	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
7	Forma de solicitar o transporte do palete	 Software de gerenciamento		
8	Tipo de armazém	 Porta palete convencional		
9	Tipo de transportador do armazém		 Empilhadeira AMR	
10	Forma de orientação do transportador do armazém			 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
11	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
12	Software de gerenciamento	 Easy WMS	 Senior WMS	
Variantes de solução		V1 V3 V5 V7 V9 V11	V2 V4 V6 V8 V10	V12

Fonte: Autor (2022)

3.2.5 Avaliação das variantes de solução

Através da combinação das soluções, foram obtidas 12 variantes de solução, ou seja, um número de variantes de solução elevado. Assim, as variantes de solução serão avaliadas primeiramente de forma qualitativa e as variantes de solução remanentes serão avaliadas de forma quantitativa, a fim de obter a melhor variante de solução ao projeto.

Com o objetivo de identificar as variantes de soluções que satisfaçam a função global do projeto aplicou-se uma análise qualitativa, descartando as opções que não suprem aos requisitos básicos elencados como fundamentais para o projeto. A análise das variantes de soluções propostas é apresentada no Quadro 10, identificando as que melhor satisfazem os principais condicionantes do projeto. A avaliação é composta por perguntas: se atende a função global, se permite a verificação dos produtos paletizados de forma ágil em diversos locais e se possui facilidade de implantação em sistemas automatizados. A essas perguntas foram dadas respostas atendendo a uma simbologia, S (sim) ou N (não). Posteriormente, foi feita uma tomada de decisão, onde D significa (desclassificado) e C (classificado).

















































Quadro 10 - Avaliação qualitativa das variantes de solução do projeto

Projeto do sistema logístico automatizado					
Simbologia: (S) Sim / (N) Não / (C) Classificado / (D) Desclassificado					
Variantes de solução	Atende a função global?				Decisão
	Permite a verificação dos produtos paletizados de forma ágil em diversos locais?				
	Possui facilidade de implantação em sistemas automatizados?				
	Observações:				
V1	S	N	N	A leitura desta etiqueta de identificação do produto requer o “contato visual” entre a etiqueta e o leitor de etiquetas. Desta forma, em um processo automatizado a identificação dos produtos durante a paletização é possível sem dificuldades. Porém, a verificação dos produtos presentes no palete durante o processo de transporte e / ou armazenagem terá dificuldades, pois dependendo do tamanho das embalagens do produto paletizado, a etiqueta de identificação não estará visível no perímetro do palete em função da quantidade de embalagens deste palete.	D
V2	S	N	N	Idem anterior.	D
V3	S	N	N	Idem anterior.	D
V4	S	N	N	Idem anterior.	D
V5	S	N	N	Idem anterior.	D
V6	S	N	N	Idem anterior.	D
V7	S	N	N	Idem anterior.	D
V8	S	N	N	Idem anterior.	D
V9	S	S	S		C
V10	S	S	S		C
V11	S	S	S		C
V12	S	S	S		C

Fonte: Autor (2022)

Assim, quatro variantes de solução, V9, V10, V11 e V12 atenderam os requisitos qualitativos de avaliação estabelecidos. O Quadro 11 apresenta as soluções para cada subfunção das variantes de solução remanescentes.

Quadro 11 - Princípios de soluções das variantes de solução remanescentes

Subfunções		Variantes de solução			
		V9	V10	V11	V12
1	Tipo de identificador de produto	 RFID	 RFID	 RFID	 RFID
2	Tipo de leitor de identificador de produto	 Leitor de tags RFID	 Leitor de tags RFID	 Leitor de tags RFID	 Leitor de tags RFID
3	Identificar o local do palete	 Leitor de etiquetas de identificação	 Leitor de etiquetas de identificação	 Leitor de etiquetas de identificação	 Leitor de etiquetas de identificação
4	Tipo de transportador autônomo	 Paleteira AMR	 Paleteira AMR	 Empilhadeira AMR	 Empilhadeira AMR
5	Forma de orientação do transportador autônomo	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
6	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador
7	Forma de solicitar o transporte do palete	 Software de gerenciamento	 Software de gerenciamento	 Software de gerenciamento	 Software de gerenciamento
8	Tipo de armazém	 Porta paleta convencional	 Porta paleta convencional	 Porta paleta convencional	 Porta paleta convencional
9	Tipo de transportador do armazém	 Empilhadeira AMR	 Empilhadeira AMR	 Empilhadeira AMR	 Empilhadeira AMR
10	Forma de orientação do transportador do armazém	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
11	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador	 Haste do transportador
12	Software de gerenciamento	 Easy WMS	 Senior WMS	 Easy WMS	 Senior WMS

Fonte: Autor (2022)

A principal diferença destas variantes de solução deve-se ao tipo de transportador autônomo (paleteira AMR ou empilhadeira AMR) empregado para fazer a movimentação do palete dos setores de montagem até o armazém e ao software de gerenciamento utilizado para controlar todo o sistema automatizado (Easy WMS ou Senior WMS). As demais subfunções utilizarão as mesmas tecnologias, ou seja, usarão etiquetas de identificação do tipo RFID, leitor de tags RFID, a identificação do local do palete que está sendo carregado irá ocorrer por meio da leitura das etiquetas de identificação dos produtos, os transportadores autônomos empregarão a orientação por meio do sensor LiDAR e da tecnologia SLAM, o carregamento e descarregamento do palete no transportador será realizado pela própria haste do equipamento de transporte, a solicitação de transporte do palete carregado será através do software de gerenciamento, o armazém será do tipo porta palete convencional e o tipo de transportador do armazém será as empilhadeiras AMR que utilizarão suas hastes para fazer o carregamento e descarregamento do palete.

Desta forma, baseado na metodologia proposta para o desenvolvimento do projeto, neste momento é necessária a realização de uma análise quantitativa das variantes de solução remanescentes. Esse processo avaliativo compara as variantes de solução mais promissoras em relação ao objetivo geral preestabelecido, mensurado em relação aos requisitos mais relevantes e em conformidade com as diretrizes da VDI 2225 através de uma pontuação com escala crescente de valores de 0 a 4 pontos. Assim, a variante de solução que receber a maior pontuação deverá ser implementada no projeto, pois significa que melhor atende aos critérios estabelecidos.

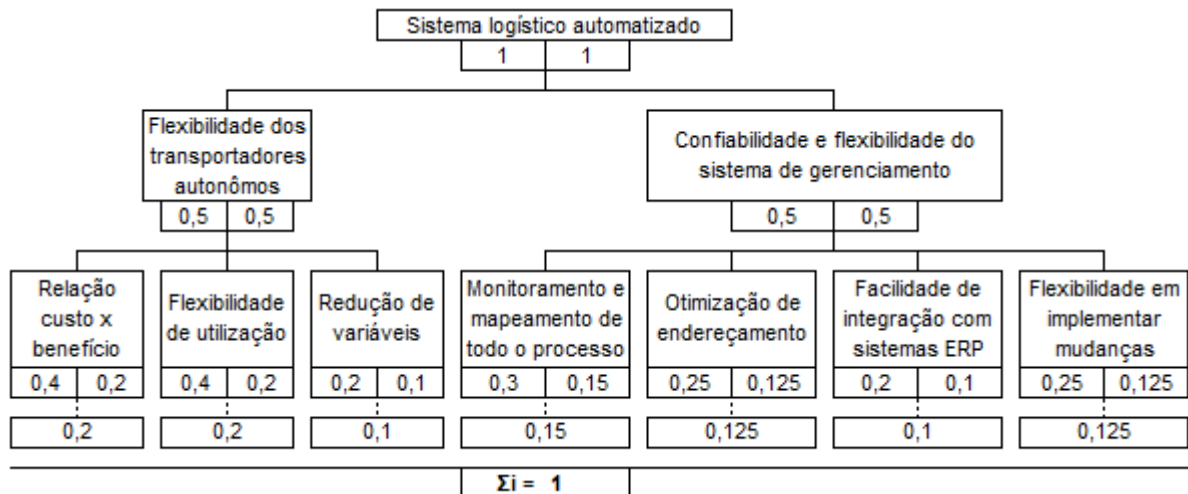
Assim, as exigências da lista de requisitos do projeto são convertidas em critérios de avaliação, considerando que as principais diferenças das variantes de solução a serem avaliadas são o tipo de transportador autônomo e o tipo de software de gerenciamento. A cada critério avaliativo é estabelecido um fator de ponderação devido a sua importância no desenvolvimento do projeto. O valor numérico é obtido através da multiplicação do fator de ponderação do seu respectivo nível pelos fatores de ponderação dos níveis superiores e a soma dos pesos de cada nível de avaliação deve ser igual a 1 (um).

A Figura 28 apresenta os critérios de avaliação quantitativa das variantes de solução com os respectivos fatores de ponderação. Os principais objetivos do projeto utilizados como critérios de avaliação são:

- 1) Relação custo x benefício;
- 2) Flexibilidade de utilização;
- 3) Redução de variáveis;

- 4) Monitoramento e mapeamento de todo o processo;
- 5) Otimização de endereçamento;
- 6) Facilidade de integração com sistemas ERP;
- 7) Flexibilidade em implementar mudanças.

Figura 28 - Critérios de avaliação quantitativa das variantes de solução



Fonte: Autor (2022)

Cada um dos sete objetivos mais relevantes do sistema logístico automatizado possui um peso para a concepção do sistema, sendo que as concepções devem ser avaliadas quantitativamente. Porém, é necessário relacionar critérios qualitativos e quantitativos. Essa relação pode ser realizada por dois métodos distintos: a análise de pontos ou as diretrizes da VDI 2225. O Quadro 12 demonstra os critérios de avaliação adotados para quantificar a funcionalidade teórica dos sete objetivos mais relevantes do sistema automatizado.

Quadro 12 - Critérios de avaliação das variantes de solução

Escala de valores		Magnitude de parâmetros						
Análise de valor	VDI 2225	Relação custo x benefício	Flexibilidade de utilização	Redução de variáveis	Monitoramento e mapeamento de todo o processo	Otimização de endereçamento	Facilidade de integração com sistemas ERP	Flexibilidade em implementar mudanças
1	0	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Péssima	Péssima	Muito baixa
2		Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Ruim	Ruim	Baixa
3	1	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Regular	Regular	Regular
4		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
5	2	Regular	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa	Alta
6		Alta	Alta	Alta	Alta	Muito boa	Muito boa	Alta
7	3	Alta	Alta	Alta	Alta	Muito boa	Muito boa	Alta
8		Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta
9	4	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta
10		Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta

Fonte: Autor (2022)

A funcionalidade foi avaliada para as variantes V9, V10, V11 e V12 em cada um dos sete objetivos ilustrados na Figura 28, utilizando como referência os valores adotados pelas diretrizes da VDI 2225, onde cada escala de valores varia de zero (0) a quatro (4) pontos, sendo zero (0) o valor mínimo e insatisfatório e quatro (4) o valor máximo e ótimo. Desta forma, o Quadro 13 apresenta a avaliação quantitativa das variantes de solução segundo os pesos apresentados na Figura 28 e a escala de valores estabelecidos no Quadro 12.

Quadro 13 - Avaliação quantitativa das variantes de solução

Critério de avaliação	Característica	Relação custo x benefício	Flexibilidade de utilização	Redução de variáveis	Monitoramento e mapeamento de todo o processo	Otimização de endereçamento	Facilidade de integração com sistemas ERP	Flexibilidade em implementar mudanças	Total
	Fator	0,2	0,2	0,1	0,15	0,125	0,1	0,125	
Parâmetro	Nome	Viabilidade	Funcionalidade	Simplicidade	Rastreabilidade	Eficiência	Flexibilidade	Praticidade	-
Variante 9	Propriedade	Regular	Baixa	Muito baixa	Alta	Regular	Boa	Regular	-
	Valor	2	1	0	3	2	3	2	13
	Valor Ponderado	0,4	0,2	0	0,45	0,25	0,3	0,25	1,85
Variante 10	Propriedade	Regular	Baixa	Muito baixa	Alta	Boa	Muito boa	Alta	-
	Valor	2	1	0	3	3	4	3	16
	Valor Ponderado	0,4	0,2	0	0,45	0,375	0,4	0,375	2,3
Variante 11	Propriedade	Alta	Alta	Regular	Alta	Regular	Boa	Regular	-
	Valor	3	3	2	3	2	3	2	18
	Valor Ponderado	0,6	0,6	0,2	0,45	0,25	0,3	0,25	2,65
Variante 12	Propriedade	Alta	Alta	Regular	Alta	Boa	Muito boa	Alta	-
	Valor	3	3	2	3	3	4	3	21
	Valor Ponderado	0,6	0,6	0,2	0,45	0,375	0,4	0,375	3,0

Fonte: Autor (2022)

Dessa avaliação derivaram o valor global e o ponderado de cada uma das variantes de solução, considerando-se como de melhor desempenho os valores mais altos para ambos os resultados. Assim, a variante de solução V12 apresentou o melhor desempenho nos requisitos avaliados, pois apresentou um valor global e um valor ponderado respectivamente de 21 e 3,0 pontos, devendo ser empregada nas etapas subsequentes do desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado.

3.2.6 Conceito do projeto

Uma solução, mesmo que sucinta, tem que considerar ao menos na sua essência as condicionantes expostas na linha mestra que estão fixadas como diretrizes. Esta busca está voltada ao atendimento da solução técnica para o projeto conceitual do sistema automatizado e, por consequência, para tomar uma decisão segura com relação à variante de solução avaliada como a mais vantajosa. Neste caso, as estruturas de funcionamento ou combinações de

princípios selecionadas têm de ser desenvolvidas através da variante de solução V12.

O projeto conceitual deste trabalho está fundamentado em produtos que utilizam etiquetas de identificação do tipo RFID. Assim, quando o colaborador insere um produto que possui o tag RFID sobre o palete, a informação deste tag é transmitida por meio do leitor de etiquetas de RFID ao software de gerenciamento do sistema automatizado. No momento em que todos os produtos a serem carregados em um palete estiverem posicionados, o software de gerenciamento solicita que um dos transportadores autônomos realize a coleta do palete e execute o transporte até o local específico no porta palete no armazém. A Figura 29 apresenta um desenho ilustrativo do projeto conceitual do sistema logístico automatizado aplicando as soluções obtidas com a variante de solução V12.

Figura 29 - Desenho ilustrativo do projeto conceitual do sistema logístico automatizado



Fonte: Autor (2022)

A variante de solução V12 emprega as etiquetas de identificação de produtos baseadas na tecnologia RFID. Os principais benefícios proporcionados por esta tecnologia devem-se a possibilidade de leitura de várias etiquetas de RFID ao mesmo tempo e sem a necessidade de “contato visual” com a etiqueta, ou seja, permite a leitura a uma certa distância entre a etiqueta e o leitor das etiquetas em comparação as tecnologias de códigos de barras 1D e 2D. Já a solicitação do transporte do palete carregado com os produtos em cada setor de montagem será

executada através do software de gerenciamento do sistema automatizado de forma automática. Isto será possível em função de haver uma programação do layout dos produtos que devem ser carregados em cada palete. Assim, a informação dos produtos adicionados no palete é obtida através do leitor de etiquetas RFID e transmitida ao sistema de gerenciamento em tempo real. E ao ser finalizado o carregamento da última embalagem planejada no palete, o sistema automaticamente dispara a ordem de transporte aos transportadores autônomos.

Os transportadores autônomos utilizados para realizar o transporte dos paletes dos setores de montagem até o local de armazenagem no armazém são empilhadeiras AMR que aplicam o sistema de navegação e orientação através dos sensores LiDAR e da tecnologia SLAM. Portanto, tais transportadores não necessitam de acessórios físicos específicos instalados na área de operação em comparação aos transportadores com a tecnologia AGV, o que torna a programação das trajetórias dos transportadores mais flexível a mudanças de layout. Outro benefício de empregar somente empilhadeiras AMR no sistema logístico automatizado deve-se ao fato de aumentar a versatilidade de utilização dos equipamentos transportadores, ou seja, o mesmo equipamento poderá realizar o transporte do palete do setor de montagem até o local de armazenamento no porta palete. Assim, elimina-se etapas do processo automatizado, pois retira-se a necessidade de descarregar o palete em um local específico de recebimento dos paletes no armazém e que um outro transportador com maior capacidade de elevação execute o endereçamento do palete no porta palete.

A atividade de carregamento e descarregamento do palete do transportador será realizada através das hastes de elevação de carga dos próprios transportadores, por meio do sistema eletro-hidráulico destes equipamentos. O tipo de armazém selecionado para a automação é o sistema porta palete convencional, pois requer um menor investimento comparado a outros sistemas aplicáveis a estas condições operacionais de armazenagem (área de armazenagem, altura de armazenagem, critério de entrada e saída dos paletes armazenados) e devido ser o sistema mais flexível a mudanças de layout por não necessitar equipamentos de movimentação específicos e adequações construtivas na edificação.

O software de gerenciamento do sistema logístico automatizado selecionado é o Senior WMS, pois apresenta condições de programação flexíveis as necessidades do cliente, permite uma alta capacidade de integração com diversos sistemas de ERP, possibilita implementar rotinas automáticas de execução de atividades e possibilita um elevado nível de controle operacional do sistema logístico automatizado.

Portanto, obteve-se o conceito de um sistema logístico automatizado que aplica as ferramentas, equipamentos e recursos mais eficientes e autônomos disponíveis no mercado.

Assim, elimina-se a necessidade direta da ação dos colaboradores para realizar as atividades de transporte e armazenagem de produtos paletizados, proporcionando a rastreabilidade, confiabilidade e eficiência das operações. De modo geral a metodologia escolhida para o desenvolvimento tem se mostrado eficiente, por ser um método organizado e eficaz, no qual facilita o trabalho e minimiza a possibilidade de erros nas etapas futuras.

3.3 Terceira fase: Projeto preliminar do sistema automatizado

Segundo a metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005), a terceira fase é denominada de projeto preliminar ou anteprojeto. Esta etapa deve ser desenvolvida a partir do projeto conceitual obtido através da variante de solução V12, atendendo as exigências apresentadas na lista de requisitos do projeto (Quadro 4) e considerando os critérios técnicos e econômicos.

Desta forma, primeiramente será detalhado de forma clara os materiais, dispositivos, equipamentos e softwares necessários para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado. E em seguida, a partir das informações destes elementos será apresentado as diretrizes da simulação computacional a ser executada no software Tecnomatix Plant Simulation, a fim de finalizar o dimensionamento do sistema logístico automatizado e validar o atendimento as exigências apresentadas da lista de requisitos do projeto.

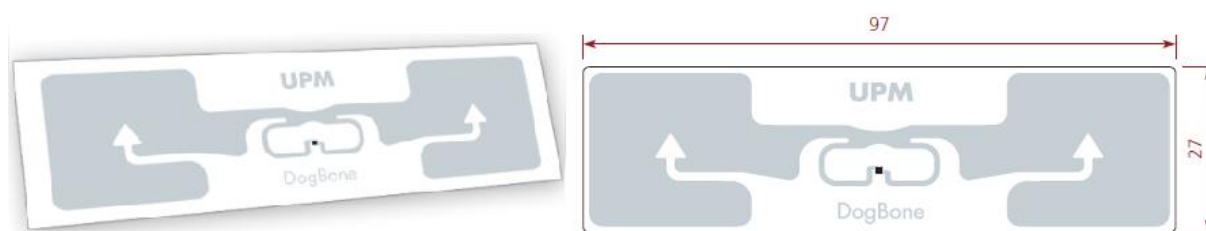
3.3.1 Elementos utilizados no sistema logístico automatizado

A seguir será apresentado a especificação técnica e a forma de funcionamento dos recursos necessários para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado e que deverão ser utilizados na implementação deste projeto na indústria moveleira, ou seja, as etiquetas de identificação RFID, a impressora de etiquetas RFID, o leitor e antena de etiquetas RFID, a empilhadeira AMR, o porta palete convencional e o software de gerenciamento.

3.3.1.1 Etiqueta de identificação RFID

A etiqueta de identificação de produtos utilizada neste projeto é do modelo AcuTag UHF DogBone pois é ideal para ambientes industriais em função de trabalhar com grande eficiência perto de metais. O substrato desta etiqueta RFID é o papel adesivo que permite a impressão de informações por transferência térmica em seu verso. A Figura 30 apresenta a configuração do circuito de RFID e a dimensão da etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone.

Figura 30 - Etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone



Fonte: Acura (2022)

O Quadro 14 apresenta as principais características técnicas da etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone. De acordo com a Acura (2022), este modelo de etiqueta de identificação RFID é recomendado para aplicações em cadeias de suprimento, ambiente industrial, autenticação de marcas e acessórios de moda, transporte, área médica e farmacêutica.

Quadro 14 - Características técnicas da etiqueta de identificação AcuTag UHF DogBone

Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISSO 18000-6C
Frequência de operação	860 – 960 MHz
Chip RFID	Impinj Monza 4
Configuração de memória	64 bit TID Até 128 bit EPC 32 bit Memória de usuário
Distância de leitura	Até 8 m (função do tipo de leitor, antena e ambiente de utilização do tag)
Aplicações	Controle de ativos e estoque
Tempo de vida	Ilimitado
Superfícies aplicáveis	Superfícies não metálicas
Encapsulamento	Inlay (etiqueta)
Peso	Menor que 1 g
Dimensões	97 x 27 mm
Temperatura de operação	-40°C a +85°C
Grau de proteção	Não se aplica
Fixação	Auto adesivo
Diâmetro de curvatura	Maior que 50 mm
Pressão	Até 10 Mpa
Tempo de vida	50 anos de retenção de dados; 100.000 ciclos de gravação

Fonte: Adaptado de Acura (2022)

3.3.1.2 Impressora de etiquetas RFID

A impressora empregada para imprimir as informações no verso das etiquetas de identificação RFID e simultaneamente realizar a codificação RFID é do modelo CL4NX do fabricante SATO. A Figura 31 apresenta a impressora CL4NX para etiquetas de identificação RFID que possui recursos simultâneos de codificação RFID e impressão de texto e código de barras.

Figura 31 - Impressora de etiquetas de identificação CL4NX



Fonte: Acura (2022)

As configurações, operação e manutenção da impressora são extremamente fáceis e intuitivas. Entre as principais características e vantagens se destacam a tela de LCD interativa a cores com navegação intuitiva no menu, vídeos de ajuda on-board, manutenção sem ferramentas, múltiplas interfaces e seleção de idiomas. O Quadro 15 apresenta as principais características técnicas da impressora CL4NX para etiquetas de identificação RFID.

Quadro 15 - Características técnicas da impressora CL4NX para etiquetas de identificação RFID (continua)

Resolução de impressão	203 dpi; 305 dpi; 609 dpi
Velocidade de impressão	10 pps; 8 pps; 6 pps
Área de impressão	máxima largura: 104 mm / máximo comprimento: 2500 mm; 1500 mm ;400 mm
Largura da mídia	25 mm ~ 131 mm
Largura do ribbon	39,5 mm ~ 128 mm
Opcionais	Cortador, Dispensador, Dispensador com Rebobinador, Cortador Linerless, RTC, WLAN, UHF RFID, HF RFID
Dimensões	217 x 321 x 457 mm
Peso	15 kg
Método de impressão	Térmica direta / Transferência térmica, Contínua, Tear-off, Cortador, Dispensador Linerless
Painel	LCD Full color de 3.5"
Conjunto de caracteres	47 idiomas e fontes ajustáveis
Emulação	SBPL, SZPL, SDPL, SIPL, STCL, XML
Código de barras 1D	Code 39, Code 93, Code 128, CODABAR (NW7), EAN 8/13, GS-1 Databar, GS-1, 128 (UCC/ EAN 128), Intercalado 2/5, Industrial 2/5, JAN 8/13, Matrix 2/5, MSI, Bookland, Postnet e UPC-A/E
Código de barras 2D	PDF 417, Micro PDF, Maxi Code, GS1 Data Matrix, QR Code, Micro QR Code e simbologias compostas.
Tipo de Sensor	Sensor transmissivo ajustável para intervalos, sensor refletivo ajustável para tarjas, fim de papel, Ribbon próximo ao fim.
Tipo de mídia	Rolo (Contínuo, corte), Sanfonado, Tag, Ticket (Diâmetro do rolo: 220 mm com 76 mm de diâmetro interno)
Espessura mídia	0,060 mm ~ 0,268 mm (etiqueta e linear)
Comprimento Ribbon	600 m com 25,4 mm de diâmetro interno (Diâmetro do rolo: máximo 90 mm)
Elétrica	Alimentação universal automática, 100 - 240 VAC ±10%, 50 / 60 Hz
Padrão de operação	0 ~ 40°C (30 ~ 80% UR sem condensação)

Quadro 15 - Características técnicas da impressora CL4NX para etiquetas de identificação RFID (conclusão)

CPU Dupla	CPU 1: 2 GB ROM, 256 MB RAM para Linux OS / CPU 2: 4 MB ROM, 64 MB RAM para ITRON OS
Comunicação padrão	USB 2.0 (Type A & B), Ethernet (IPv4/v6), RS232C, IEEE1284, EXT, Bluetooth Ver. 3.0
Comunicação opcional	Kit LAN Wireless IEEE802.11 a/b/g/n, Dual Band (2.4 GHz / 5 GHz)

Fonte: Adaptado de Acura (2022)

Com o objetivo de tornar visual algumas das informações contidas no tag RFID para facilitar aos colaboradores a colocação das etiquetas sobre os produtos e não deixar os clientes limitados ao uso da tecnologia de identificação por RFID, no verso da etiqueta será impresso o código do produto, a descrição resumida do produto e o código de barras 1D do tipo EAN-13. Atualmente, tais informações são impressas em etiquetas adesivas sem a tecnologia RFID. A Figura 32 ilustra a impressão a ser realizada no verso da etiqueta de RFID.

Figura 32 - Impressão no verso da etiqueta de RFID



Fonte: Autor (2022)

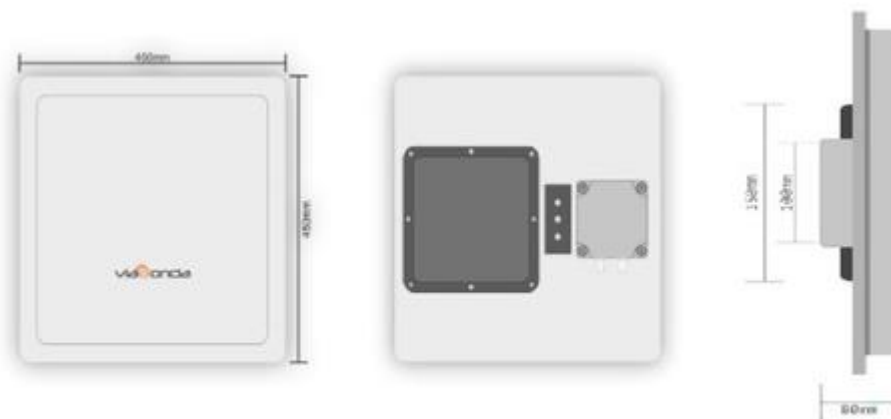
3.3.1.3 Leitor e antena de etiquetas RFID

As etiquetas de identificação RFID transmitem suas informações por meio de sinais de radiofrequência através da comunicação entre a antena presente na etiqueta e uma antena conectada a um leitor de etiquetas. Desta forma, selecionou-se para o projeto um leitor com uma antena integrada que deverá ser instalado em cada um dos pontos que necessitam da identificação dos produtos. O modelo selecionado é o M-ID12L do fabricante Viaonda, conforme a Figura 33.

De acordo com Viaonda (2022), o módulo M-ID12L é um leitor RFID UHF de médio porte e alto desempenho com eficiência na leitura e gravação de etiquetas RFID na faixa de 902 a 907 Mhz e 915,10 a 928 Mhz. Possui uma antena de 12dBi capaz de realizar leituras de etiquetas RFID a uma distância de até 11 metros (dependendo das condições do ambiente e da tag) e envia os dados no formato padrão EPC GEN2. O equipamento contém características e funcionalidades que permitem sua aplicação nos mais diversos tipos de projetos, como por exemplo no controle de acesso de pessoas e veículos, controle automático de entradas e saídas

de salas ou locais de armazenagem.

Figura 33 - Leitor de etiquetas RFID M-ID12L



Fonte: Viaonda (2022)

O equipamento permite configurar os parâmetros de radiofrequência, como: potência (até 30dBm), filtro de leitura de tags, intervalo de leitura e seleção da memória da tag a ser lida (TID, EPC ou User Memory). O Quadro 16 apresenta as principais características técnicas do leitor M-ID12L para etiquetas de identificação RFID.

Quadro 16 - Características técnicas do leitor M-ID12L para etiquetas de identificação RFID

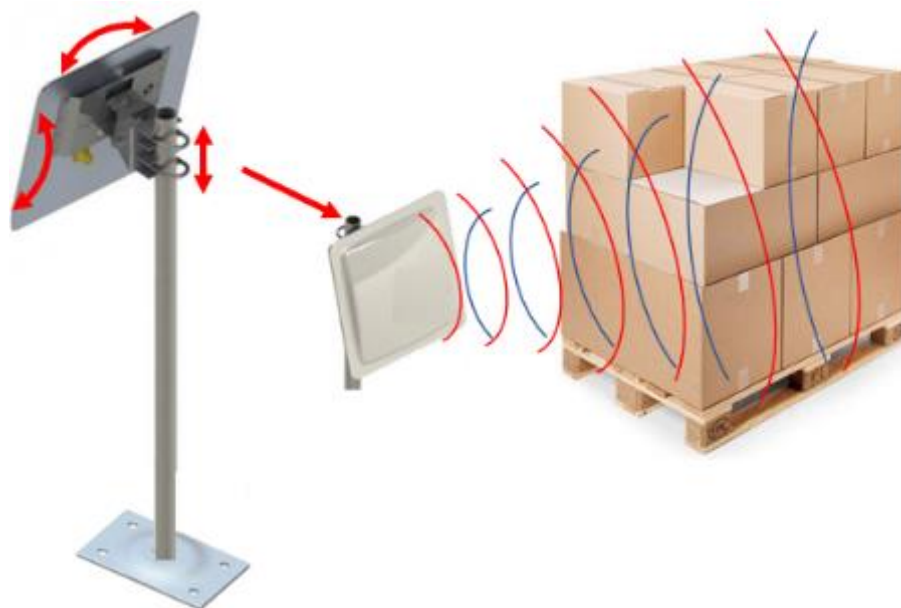
Protocolos suportados	ISO18000-6C (EPC C1G2); ISO18000-6B
Faixa de operação	902 a 907 Mhz; 915,1 a 928 Mhz
Potência de saída	5dBm a 30 dBm
Comunicação de dados	Ethernet 10/100Mbps com entrada RJ45; RS232; RS485; Wiegand 26/34
Distância máxima de leitura	Até 11m (potência máxima de 30dBm, sem obstáculos, com tag Impinj E41)
Velocidade máxima de leitura	100pcs/s
Temperatura máxima de operação	-10°C a +55°C
Potência máxima de RF	30dBm
Acuracidade de potência de RF (radiofrequência)	+/-1 dBm
Nivelamento de potência de RF	+/-0.2dBm
Sensibilidade de recepção de RF	-85dBm
Dimensões	450 x 450 x 80 mm
Polarização	Linear vertical/horizôntal
IP padrão	192.168.1.190
Máscara	255.255.255.0
Porta TCP/IP:	6000
Tensão de alimentação	110~220VAC
Consumo médio	500mA (55W)
Consumo máximo	650mA (71,5W)

Fonte: Adaptado de Viaonda (2022)

Cada equipamento M-ID12L possui um suporte articulável que permite fixá-lo em um pedestal e regular o seu posicionamento (ângulo e altura) em relação a área que deve incidir as

ondas de radiofrequência. Os componentes do pedestal são construídos em aço SAE 1020 e a união da base à haste é por meio de soldagem. A base do pedestal possui as dimensões de 300 x 300 x 3,75 mm e possui 4 furos para que seja fixado sobre o piso através de chumbador parabolt Pba 3/8" x 3". A haste do pedestal possui as dimensões de $\varnothing 38,1 \times 3500 \times 1,9$ mm. A Figura 34 apresenta o suporte de fixação do leitor de etiquetas RFID modelo M-ID12L.

Figura 34 - Suporte de fixação do leitor de etiquetas RFID M-ID12L



Fonte: Autor (2022)

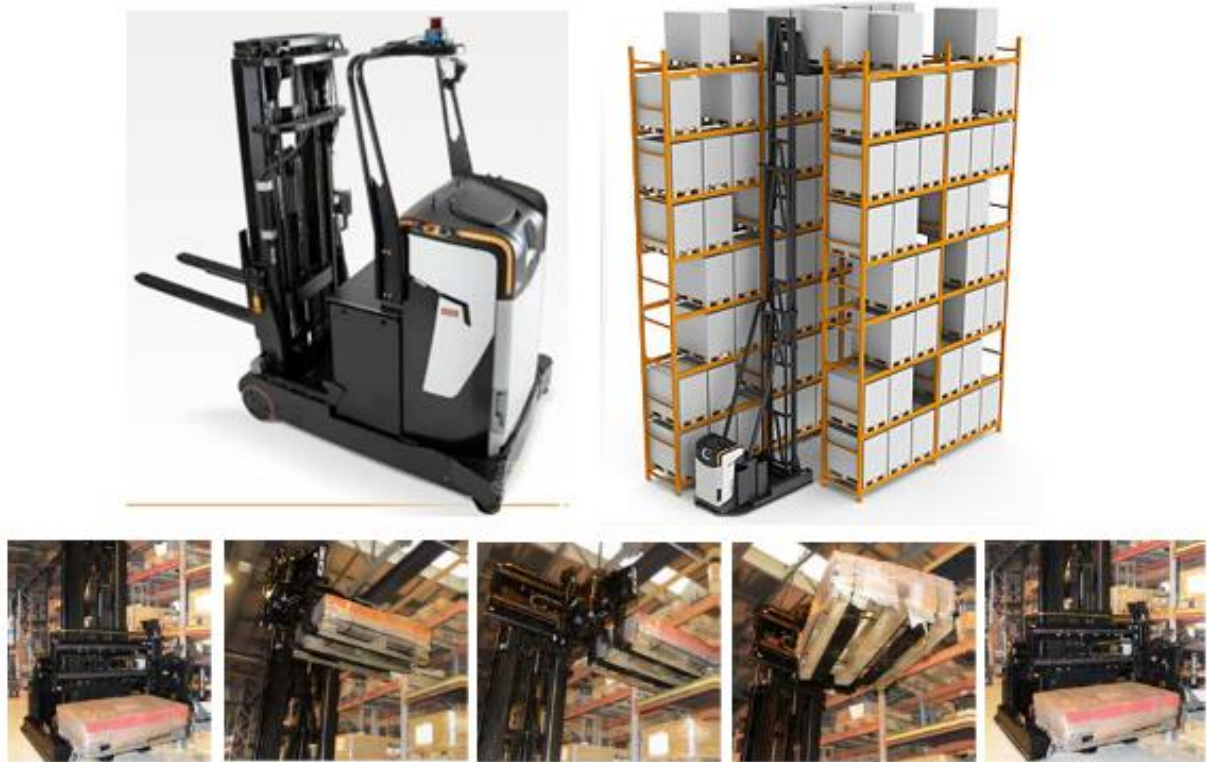
3.3.1.4 Empilhadeira AMR

O transporte dos paletes de produtos de cada setor de montagem até o local específico de armazenagem no porta palete do armazém será realizado por empilhadeiras AMR. A empilhadeira AMR selecionada para este projeto é do modelo AWT12ct com garfo telescópico do fabricante Rocla, conforme apresentado na Figura 35. A empilhadeira AWT12ct destina-se ao manuseio de paletes e aplicações de armazenamento em porta paletes que possuem corredores estreitos, pois possui uma torre de carga com garfos telescópicos que permitem o giro trilateral (-90° , 0° e $+90^\circ$) da carga, ou seja, sem a necessidade de giro da empilhadeira para acessar o local do palete na estante de armazenagem devido permitir o giro do palete em três posições: uma frontal e duas laterais. Desta forma, o veículo projetado apresenta um alto desempenho na movimentação de paletes em corredores estreitos e também alta capacidade de elevação.

A empilhadeira AWT12ct possui o sistema de navegação e orientação independente de

infraestrutura específica do tipo fios guia, imãs ou refletores a laser, pois mapeia os recursos estruturais para se localizar e navegar automaticamente. Isto deve-se ao equipamento empregar a tecnologia SLAM a laser sem espelho que proporciona alta precisão e estabilidade, aliada ao uso dos sensores LIDAR, permitindo uma fácil integração a armazéns existentes e inclusive onde existe circulação de pessoas e outros objetos. O equipamento é um dos mais seguros do mercado, pois está equipado com a detecção de paletes 3D e um sistema de segurança inteligente 360°.

Figura 35 - Empilhadeira AMR AWT12ct



Fonte: Adaptado de Rocla (2022)

A empilhadeira AWT12ct também possui instalado entre os seus garfos de elevação de carga um leitor de etiquetas de RFID com alcance de até 2 m. Desse modo, é possível identificar as embalagens sobre os paletes logo na aproximação da empilhadeira. Os dados das etiquetas são lidos e comparados com as informações registradas no sistema de gerenciamento, permitindo assim uma rastreabilidade contínua dos produtos durante as movimentações.

O Quadro 17 apresenta as principais características técnicas da empilhadeira AMR modelo AWT12ct.

Quadro 17 - Características técnicas da empilhadeira AMR modelo AWT12ct

Altura de elevação	Até 10.500 mm
Capacidade de carga	Até 1.200 kg
Largura mínima dos corredores	A partir de 1950 mm (palete de 1200 mm de largura e 1200 mm de comprimento)
Velocidade de deslocamento	120 m/min
Velocidade de elevação	45 m/min
Precisão da posição	±10mm/±1°
Peso do equipamento (incluindo bateria)	3340 kg
Altura com mastro de elevação recolhido	3900 mm
Comprimento total	2900 mm
Largura total	1100 mm
Comunicação	WI-FI, suporte 2.4G/5G, IEEE802.11 b/g/n
Bateria	Bateria de íons de lítio, 48V/320Ah, duração mínima de 10 h
Identificação de mercadorias	Laser, câmera 3D
Detecção de colisão	Prevenção de obstáculos 360°
Navegação e orientação	SLAM e LIDAR
Sensores	Scanner à laser, câmera 3D, leitor de etiqueta RFID
Segurança	Sensores laterais para proteger os lados do equipamento e botão de parada de emergência no equipamento
Manutenção preventiva programada	A cada 3 meses

Fonte: Adaptado de Rocla (2022)

Os benefícios proporcionados com a utilização do equipamento selecionado são:

- **Maior densidade de armazenagem:** os garfos telescópicos permitem a movimentação de cargas em paletes nas estantes em ambos os lados do veículo de forma simétrica e em corredores de circulação estreitos (a partir de 1750 mm de largura, empilhadeiras AMR convencionais necessitam corredores a partir de 3000 mm de largura);

- **Flexibilidade e rápida implementação:** não é necessário predefinir as rotas que deve percorrer e isso encurta significativamente a fase de implementação. O robô é capaz de “tomar decisões” e se adaptar às mudanças com base nas informações de seu entorno graças ao uso de inteligência artificial. Por exemplo, o robô é capaz distinguir entre uma estante (obstáculo permanente) e um carrinho (obstáculo temporário) e reagir de acordo com a situação;

- **Precisão:** avanços na tecnologia de navegação, sensores e visão robótica estão aumentando a segurança e a destreza dos robôs ao executar tarefas;

- **Conectividade:** os robôs móveis estão integrados com o resto dos sistemas que operam no armazém, o que será reforçado com a progressiva implementação da tecnologia 5G. Assim, esses robôs podem melhorar seu funcionamento e representar uma fonte adicional de dados sobre as operações logísticas que ocorrem na instalação de armazenagem;

- **Integração de sistemas:** integração fácil no ambiente existente de TI e rede, permitindo a conexão sem esforço aos sistemas WMS / ERP;

- **Redução da mão de obra:** redução de custos relacionados a mão de obra, redução de

erros humanos e acidentes.

3.3.1.5 Porta palete convencional

A área de armazenagem dos produtos paletizados que aguardam a liberação para serem expedidos será formada por estruturas porta paletes convencionais. A Figura 36 apresenta um exemplo de armazém que utiliza o sistema de armazenagem por porta palete convencional fornecido pela empresa Mecalux e que será aplicado neste projeto.

Figura 36 - Exemplo de armazém por porta palete convencional



Fonte: Mecalux (2022)

Os principais benefícios deste sistema de armazenagem são:

- **Fácil operação:** é um sistema de fácil e rápido manuseio, pois favorece a busca e o controle de mercadorias em função de permitir o acesso direto e unitário a cada unidade de carga paletizada;

- **Controle do estoque:** o sistema de porta paletes garante média a alta rotatividade de produtos e mercadorias dentro do armazém da empresa, o que auxilia na organização do armazenamento em relação a prazos de entrada e saída;

- **Flexibilidade de armazenamento:** a estrutura proporciona um bom e amplo aproveitamento dos espaços, devido suas estruturas serem facilmente adaptáveis e verticalizadas, possibilitando receber mercadorias de qualquer porte, ou seja, diferentes

dimensões, volumes e pesos. Por exemplo, os níveis de armazenagem são facilmente ajustados através do reposicionamento das travessas (longarinas), o que flexibiliza o armazenamento de cargas com alturas variadas.

Segundo a Mecalux (2022), o sistema porta palete convencional é formado por oito componentes básicos, conforme ilustrado na Figura 37 e que serão utilizados na montagem da estrutura de armazenagem deste projeto. Os componentes são fabricados em aço e em função de serem conformados a frio possuem elevada resistência.

Figura 37 - Componentes básicos de um sistema porta palete convencional

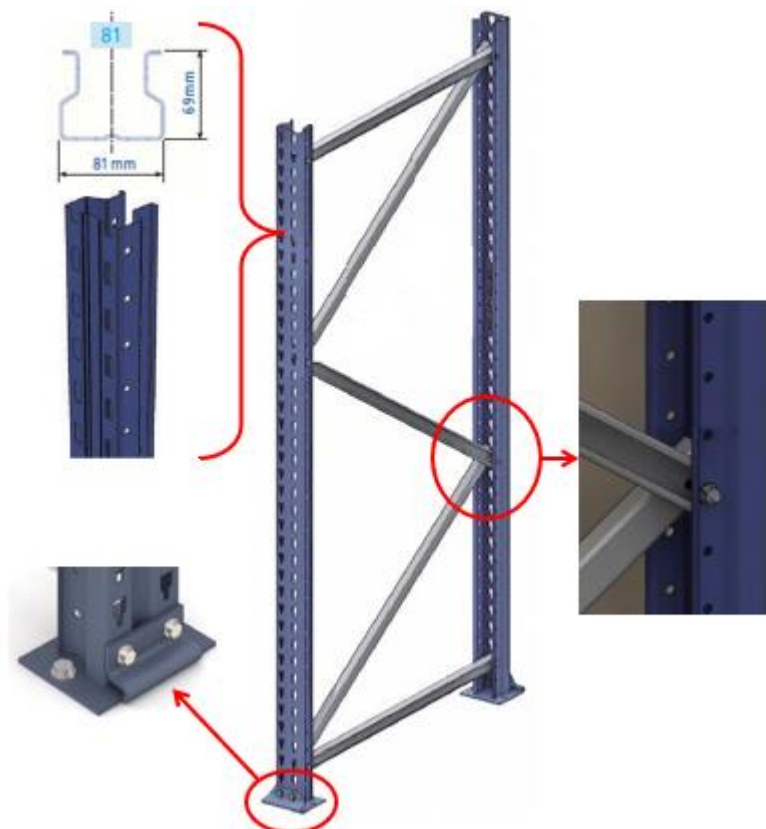


Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

A estrutura montante do porta palete é um conjunto de perfis estruturais de aço formado por duas colunas, duas sapatas e algumas travessas diagonais que são unidas por meio de parafusos. A sapata é montada na extremidade inferior da coluna e possui uma ou duas furações para ser fixada sobre o piso através de chumbadores. As colunas são projetadas com seções e espessuras conforme a carga que deverão suportar e possuem ranhuras a cada 50 mm para o acoplamento das longarinas de forma rápida e precisa. A Figura 38 apresenta uma estrutura montante e seus respectivos componentes que serão utilizados neste projeto. A estrutura montante utilizada neste projeto possui altura de 4700 mm e utilizará as colunas com perfil estrutural do modelo 81. Segundo Mecalux (2022), para paletes de profundidade de 1200 mm

a profundidade recomendada da estrutura montante é de 1100 mm.

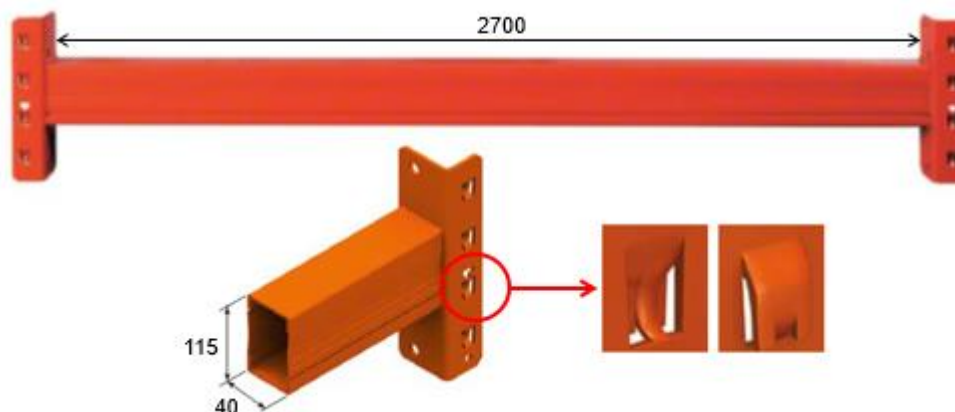
Figura 38 - Estrutura montante do porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

As longarinas são os elementos horizontais e resistentes sobre os quais se depositam as cargas. Unem-se as colunas por meio de conectores ou grampos que encaixam nas ranhuras das colunas. No sistema de união patenteado e desenvolvido pela Mecalux, as saliências destes conectores estão unidas ao corpo principal por ambas as extremidades, o que permite aumentar consideravelmente a capacidade de carga e evita as deformações que se produzem quando a parte superior e inferior não estão unidas ao corpo do grampo ou do conector. Deste modo, evita-se o risco de queda da longarina, que poderia acontecer se essa começasse a abrir como resultado de um uso contínuo. A Figura 39 apresenta o modelo de longarina utilizada neste projeto. A longarina utilizada é do modelo L2C-115415, formada por dois perfis em forma de "C" encaixados um dentro do outro e soldados a um conector em cada extremidade, possuem um comprimento útil de 2700 mm e uma capacidade de carga de até 1000 kg.

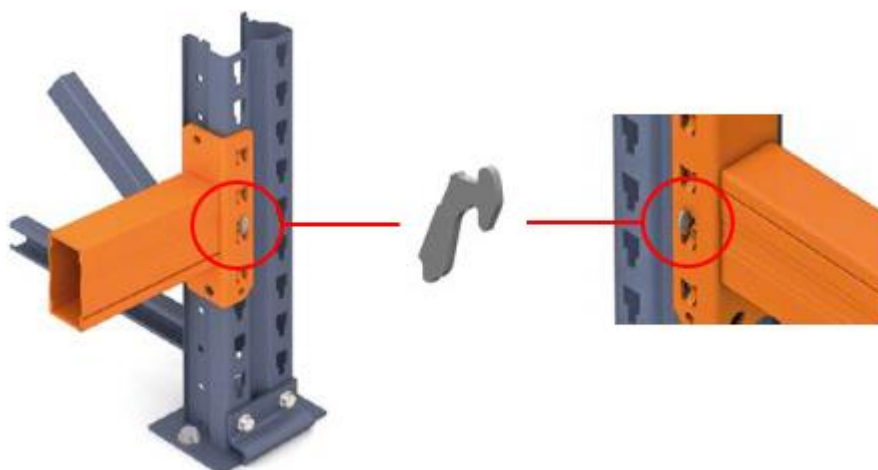
Figura 39 - Longarina do porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

As travas de segurança são peças metálicas fabricada em material galvanizado concebidas para impedir que um choque vertical ascendente possa fazer saltar as longarinas dos respectivos encaixes. Introduzem-se nas aberturas existentes em cada um dos conectores, ou seja, duas travas por longarinas. A Figura 40 ilustra o uso das travas de segurança nas longarinas dos porta paletes.

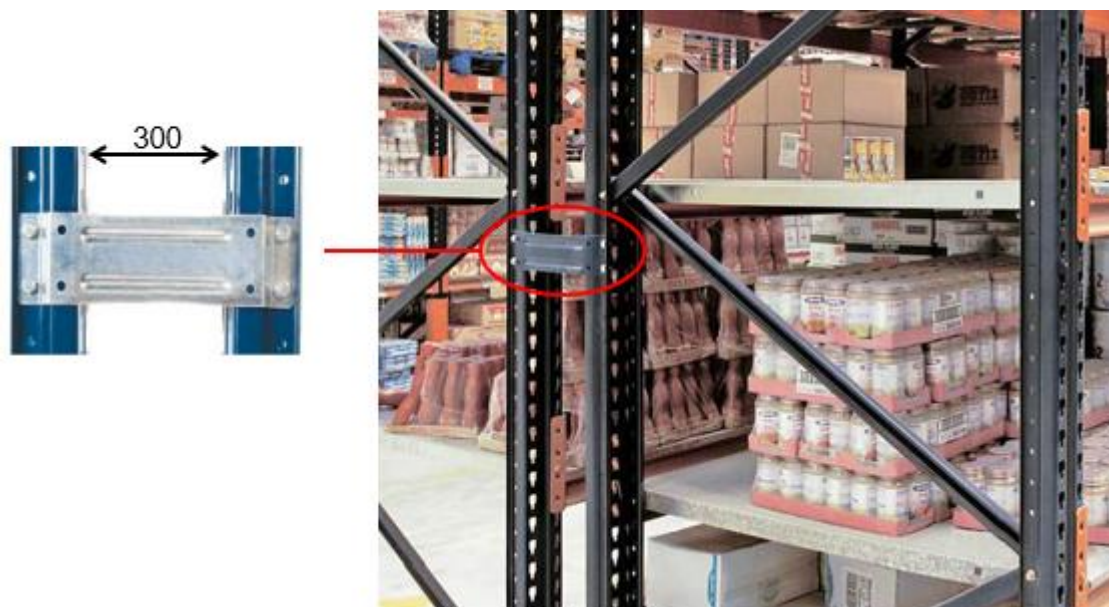
Figura 40 - Trava de segurança das longarinas do porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

As uniões de montantes são peças de aço concebidas para serem instaladas nas colunas através dos orifícios situados nas suas extremidades. A sua função é a de unir as estantes duplas entre si e proporcionar uma maior estabilidade transversal. A Figura 41 ilustra o uso da união de montante aplicado nas colunas dos porta paletes. Neste projeto a distância entre as prateleiras duplas será de 300 mm.

Figura 41 - União de montante do porta paletes



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

Segundo Mecalux (2022), o tipo de fixador recomendado e utilizado para prender o modelo de prateleira selecionada no piso são os chumbadores do tipo parabolt Pba 3/8" x 3", conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 42 - Chumbadores do tipo parabolt Pba 3/8" x 3"



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

As proteções de coluna têm uma altura de 400 mm e incluem 4 ancoragens para a sua fixação ao solo, conforme ilustrado na Figura 43. São utilizadas para a proteção contra choques ou possíveis danos nas colunas dos montantes das instalações em que circulam as empilhadeiras.

Figura 43 - Proteções de coluna dos porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

As proteções de montante protegem lateralmente a parte inferior da estante contra choques ou possíveis danos nas colunas. Normalmente são instaladas nos montantes dos extremos e nos túneis onde existe maior circulação de empilhadeiras e os choques ocorrem com maior frequência. Para proteger toda uma lateral utilizam-se dois protetores de coluna e dois perfis “C”, conforme ilustrado na Figura 44.

Figura 44 - Proteções de montante dos porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

Os indicadores de seção são chapas retangulares instaladas nas extremidades das estantes que permitem a colocação de letras ou números que identificam as estantes. Neste projeto a identificação das estantes iniciará pela letra “E” seguida por um número de forma crescente, conforme ilustrado na Figura 45.

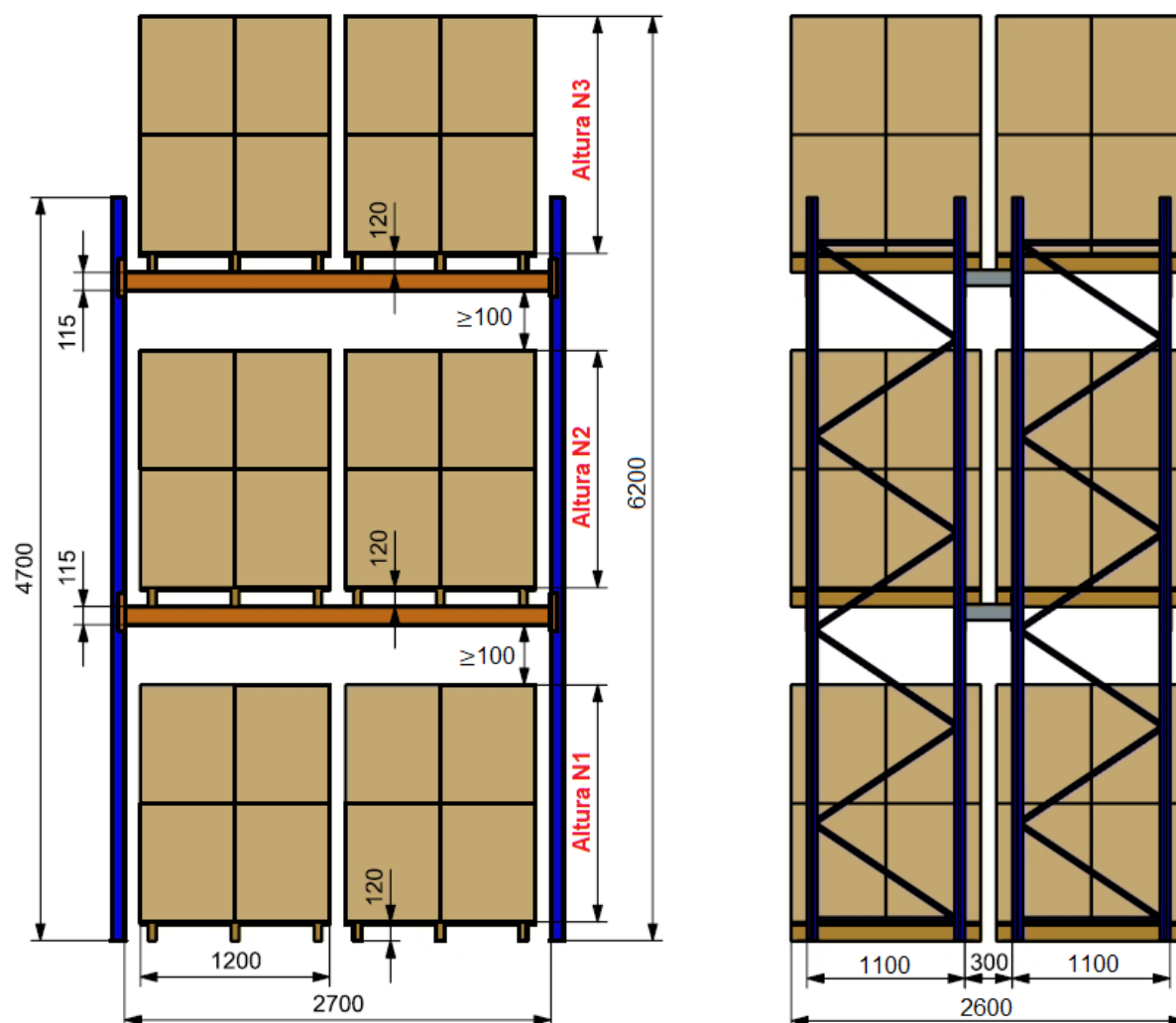
Figura 45 - Indicadores de seção dos porta palete



Fonte: Adaptado de Mecalux (2022)

Segundo Mecalux (2022), em estantes de armazenagem que utilizam sistemas automatizados de movimentação dos paletes, a folga mínima entre a superfície superior da carga do palete até a superfície inferior da longarina é de 100 mm. Desta forma, a partir das informações construtivas das estruturas porta paletes, das dimensões do palete utilizado e da altura útil do prédio a ser instalado o sistema de armazenamento, obtém-se a configuração de montagem do porta palete, conforme ilustrado na Figura 46. Observa-se que a largura mínima necessária para a instalação das estantes duplas será de 2600 mm e a distância entre dois montantes é determinada pelo comprimento da longarina, ou seja, 2700 mm. Assim, em cada longarina será possível armazenar 2 paletes e a altura útil da edificação permite implementar até três níveis de armazenagem.

Figura 46 - Configuração do porta palete



Fonte: Autor (2022)

A soma das alturas das embalagens sobre os paletes dos três níveis de armazenagem (N1, N2 e N3) deverá ser de no máximo 5410 mm, pois a altura útil da edificação onde será instalado o armazém é de 6300 mm, mas deve-se descontar de cada um dos três níveis de armazenagem a folga necessária entre os níveis e mais a altura do paletes, além da altura de duas longarinas utilizadas, ou seja, $6300 - (3 \times (100+120) + 2 \times 115) = 5410$ mm.

3.3.1.6 Software de gerenciamento

Um dos maiores desafios na área logística é acompanhar as constantes mudanças do ambiente empresarial, que visam aumentar a concorrência e satisfazer seus clientes. Neste cenário, a junção de tecnologia com logística se torna fundamental e os softwares já fazem parte da realidade de muitos armazéns. Assim, é necessário integrar sistemas de tecnologia da informação à armazenagem, pois esta melhoria não está limitada somente na automatização dos

processos, mas em possuir um sistema de informação eficaz, garantindo a tomada de decisões rápidas e inteligentes.

Neste sentido, o software de gerenciamento do sistema logístico automatizado empregado neste projeto é o Senior WMS, pois o sistema automatiza tarefas e usa inteligência de dados para manter um controle eficaz e integrado, proporcionando uma melhor utilização dos recursos inerentes à área de armazenagem e ao mesmo tempo, reduzindo o custo operacional e agilizando as atividades logísticas.

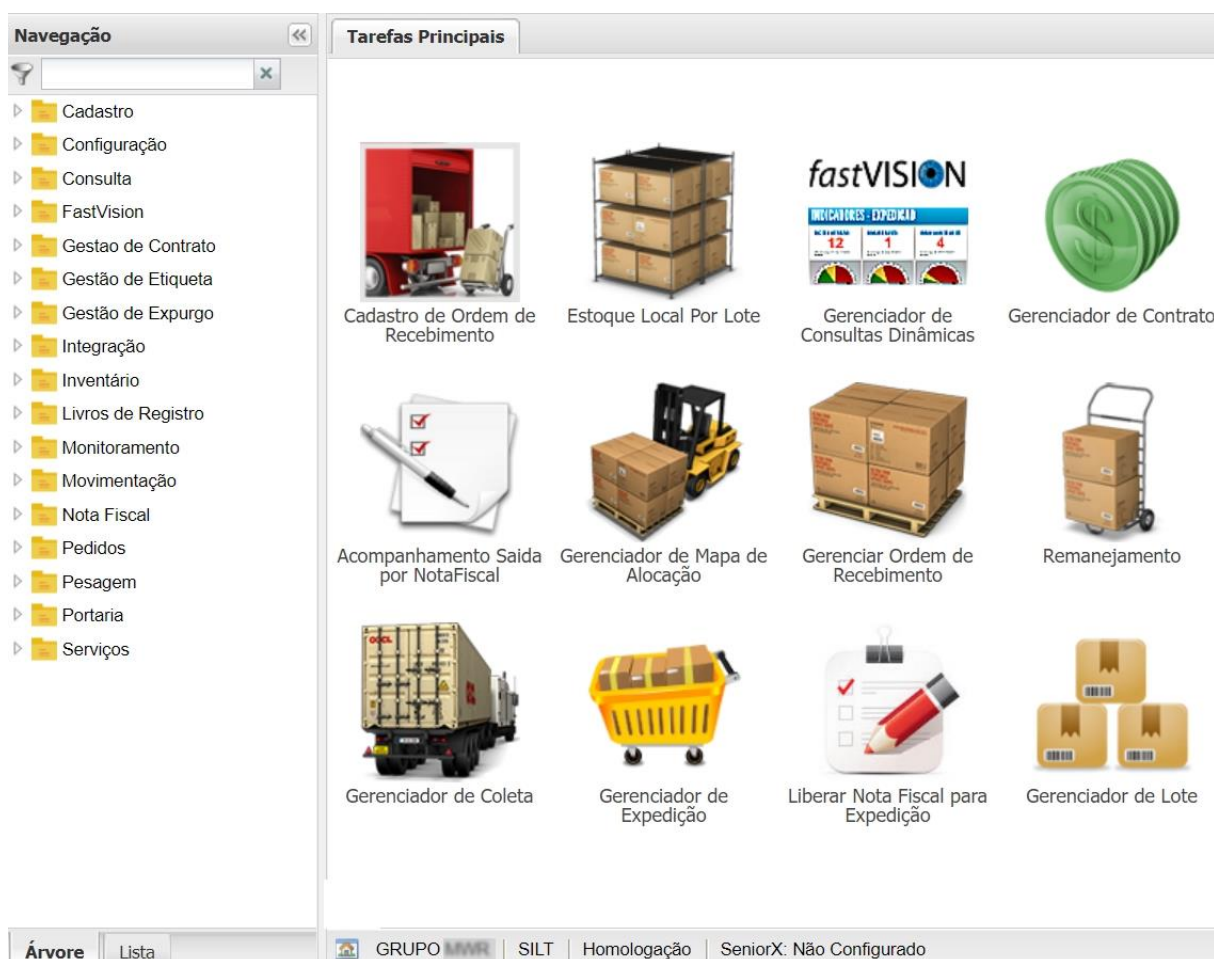
O software Senior WMS é uma plataforma inteiramente web, onde é necessário apenas o uso de um dispositivo de internet para ter acesso às funcionalidades de qualquer lugar, a qualquer momento. Neste projeto será adotada a instalação *On Premisses*, onde tanto o software quanto o hardware necessário para o funcionamento ficam alojados na empresa, ou seja, o sistema é instalado na infraestrutura do cliente visando facilitar a integração com o software ERP da empresa. O Quadro 18 apresenta a configuração mínima de hardwares homologados para o software Senior WMS.

Quadro 18 - Configuração mínima de hardwares para o software Senior WMS

Equipamentos	Processador e Memória	Armazenagem	Outros
Banco de dados	6 Core 3.x Ghz - 16 GB RAM	2 x 750GB - SAS RAID 1	2 Placas de Rede 1 GB/s
Aplicação	4 Core 2.x Ghz - 8 GB RAM	2 x 300 GB - SAS RAID 1	2 Placas de Rede 1 GB/s
Estações de trabalho	I3 ou superior - 4 GB RAM	250 GB	Placa de Rede 100 MB/s

Fonte: Senior (2022)

A solução WMS é composta pelos módulos *Enterprise*, Coletor e Portal do depositante. *Enterprise* é o módulo principal da solução, composto pelos controles, cadastros, parâmetros e visualizações da operação, permitindo a definição de processos, planejamento das atividades e tomada de decisões. O módulo Coletor é utilizado para viabilizar a interação do operador com o módulo *Enterprise*, permitindo que as atividades operacionais planejadas sejam realizadas fisicamente com base nos processos delineados e previamente parametrizados no sistema. Isto permite ao colaborador, caso seja necessário, por exemplo citar as atividades de conferência de entrada, alocação de produtos, inventário, remanejamento, separação, conferência de saída e conferência de embarque. O módulo Portal depositante é o ambiente que permite o depositante visualizar os andamentos dos processos de armazenagem dos produtos, possibilitando a interação direta com o armazém, realizando pedidos, extraindo relatórios e visualizando indicadores operacionais, que podem ser utilizados pela equipe de gestão da empresa. A Figura 47 apresenta a tela principal do módulo *Enterprise* do software Senior WMS.

Figura 47 - Tela principal do módulo *Enterprise* do software Senior WMS

Fonte: Senior (2022)

O Quadro 19 apresenta a descrição dos menus do módulo *Enterprise* do software Senior WMS.

Quadro 19 - Descrição dos menus do módulo *Enterprise* do software Senior WMS (continua)

Menu	Descrição
Cadastro	Representa todas as características do armazém, entidades, produtos, caixa de volume, separação, etc.
Configuração	Controla as principais configurações do armazém, com a integração de arquivos, de equipamentos, desde a configuração principal até os diversos comportamentos dos recebimentos, integrações e expedições
Consulta	Gerencia e visualiza a transferência de entrada, saída, os históricos de ocupação, ordem de compra, os pesos alocados, as tarefas por estação
<i>FastVision</i>	Cria consulta dinâmica com base nos dados do WMS
Gestão de contrato	Visa atender as necessidades em relação a apuração dos serviços prestados de movimentação e armazenagem
Gestão de etiqueta	Possibilita a criação de etiqueta, a partir de etiquetas existentes no WMS
Gestão de expurgo	Executar e valida log da exclusão diária dos dados, com referência aos dias configurados
Integração	Registra e aplica as integrações e também exibe logs

Quadro 19 - Descrição dos menus do módulo Enterprise do software Senior WMS (conclusão)

Inventário	Tópico que trata da validação do estoque a partir de contagens
Livros de registros	Responsável pelos livros de registro de entrada, saída e inventário
Monitoramento	Trata da visão geral dos relatórios de monitoramento / acompanhamento dos dados no WMS
Movimentação	Visualiza e faz a gestão das movimentações ocorridas durante os diversos procedimentos / fluxos do WMS
Nota fiscal	Tópico que trata das notas fiscais de depositante de regime filial e armazém geral, com os diversos cadastros, classificações e transferência de documentos
Pedidos - estatísticas dos pedidos	Visualiza por data a quantidade de pedidos / notas fiscais, do que falta liberar e do liberado no estoque, quantas ondas formadas, do que foi separado, conferido e expedido
Pesagem	Faz a gestão dos pesos, vinculados a escala, volumes e produtos
Portaria	Controla a entrada e saída de veículos no pátio do armazém
Serviços	Trata de atividades extras utilizando o estoque já alocado no armazém

Fonte: Senior (2022)

O software Senior WMS trabalhará integrado ao sistema ERP da empresa. Desta forma, ao serem geradas as ordens de produção diária dos produtos pelo sistema ERP, estas informações são repassadas ao software Senior WMS. As informações básicas que deverão ser compartilhadas de cada produto a ser produzido são o código do produto, as informações cadastradas sobre o código de barras e informações a serem gravadas no tag RFID durante a impressão da etiqueta de identificação do produto, o número da carga / pedido que este produto pertence, as datas de produção nos setores de montagem e as datas de carregamento deste produto.

A partir destas informações, o software Senior WMS acessará o seu banco de dados que relaciona o tipo de produto ao tamanho da embalagem e também o seu banco de dados que relaciona o tipo de produto a um dos cinco locais de montagem e executará o planejamento do layout de paletização dos produtos em cada local de montagem agrupados pela carga que pertencem, limitado a dimensão do palete (1200 x 1200 mm) e pela altura máxima de paletização. Em função de cada setor de montagem possuir duas áreas demarcadas no piso para posicionar os paletes de produtos embalados, o software fará a distribuição do planejamento do layout de paletização de forma ordenada e sequencial, ou seja, uma vez no local “A” e a próxima no local “B” e assim sucessivamente. O layout de paletização contendo a indicação do local do palete deverá ser disponibilizado juntamente com a ordem de produção a cada um dos setores de montagem.

Na sequência o software deverá planejar os locais de armazenagem dos paletes nas estantes do armazém, segundo a disponibilidade de locais livres conforme as datas de produção e carregamento. O principal critério a ser adotado durante o planejamento dos locais de armazenagem que visa otimizar o fluxo operacional do armazém é o agrupamento por cargas, ou seja, depositar os paletes de uma carga próximos e ocupando todos os níveis de

armazenagem disponíveis entre um par de montantes para seguir armazenando no próximo par de montantes e assim sucessivamente nas próximas estantes.

Outra função a ser desempenhada pelo software Senior WMS é o de monitorar e controlar o fluxo dos paletes de produtos dos setores de montagem até o local de armazenagem planejado. Para que isto seja possível, todos os locais de montagem contarão com um leitor de etiquetas RFID posicionado de forma a permitir a leitura de todas as embalagens de produtos posicionadas sobre o palete. Assim, o software terá acesso em tempo real aos produtos que foram carregados sobre o palete e conseqüentemente identificará o local deste palete baseado no planejamento de paletização, verificando esta localização com o código de identificação do leitor cadastrado no sistema que é transmitido juntamente a informação lida da etiqueta de identificação RFID.

Desta forma, o software de gerenciamento conforme for recebendo as informações dos produtos embalados depositados sobre o palete por meio dos leitores de etiquetas RFID, automaticamente irá comparar com a paletização planejada e ao verificar que todos os produtos se encontram no palete, enviará uma ordem de transporte via wi-fi aos transportadores autônomos. Os transportadores autônomos utilizarão o método FIFO para executar as solicitações de transporte dos paletes, ou seja, a primeira solicitação recebida será a primeira a ser realizada e assim sucessivamente. As empilhadeiras também possuem instalado entre os seus garfos de elevação de carga um leitor de etiquetas de RFID, isto permitirá ao software receber informações dos itens que estão em transporte, realizar a checagem e aumentar o nível de confiabilidade e rastreabilidade dos itens.

O software de gerenciamento terá o mapeamento de todos os locais de forma digital que poderão ser alocados os paletes, tanto nos setores de montagem quanto no armazém. Cada um destes locais corresponde a uma posição definida por meio de coordenadas cartesianas no layout da planta a ser automatizada. Deste modo, a ordem de transporte enviada aos transportadores autônomos deverá conter a posição cartesiana de origem do palete na montagem e a posição cartesiana de destino no armazém. A partir destas informações os transportadores autônomos irão determinar qual o melhor caminho a seguir e permitindo desviar de obstáculos, devido as tecnologias de orientação e navegação presentes nestes equipamentos.

Desta maneira, as principais vantagens obtidas com a utilização do software de gerenciamento Senior WMS são:

- **Monitoramento em tempo real:** o sistema permite localizar com exatidão os produtos e também analisar todas as movimentações que ocorrem de maneira centralizada, isto possibilita verificar gargalos e solucioná-los com agilidade e precisão;

- **Redução de custos logísticos:** o uso da tecnologia para automatizar tarefas operacionais que eram realizadas de forma totalmente manual otimiza o tempo investido, pois elimina as movimentações desnecessárias e conseqüentemente aumenta a produtividade;

- **Aumento da capacidade de armazenagem:** o mapeamento do ambiente de armazenagem permite indicar as melhores posições de estoque e localizar os melhores locais para cada tipo de produto, pois o sistema transforma o ambiente em dados e, com isso, traz uma análise estratégica e automatizada que possibilita armazenar mais produtos em menor espaço e de maneira segura;

- **Eliminação de erros:** a utilização do sistema de gerenciamento juntamente com a identificação por RFID possibilita rastrear com alta precisão os produtos, assim evitando envio incorreto aos clientes.

3.3.2 Simulação computacional

A avaliação do desempenho do sistema automatizado projetado será realizada através do software Tecnomatix Plant Simulation. Desta forma, finalizado o dimensionamento do sistema logístico automatizado e validando o atendimento as exigências apresentadas da lista de requisitos do projeto. O Quadro 20 apresenta os objetivos da simulação computacional para o desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado. Sendo formado respectivamente por três objetivos principais a serem solucionados através da realização da simulação computacional, o que deverá ser simulado, quais os resultados que serão obtidos e conseqüentemente a análise a ser realizada com os dados obtidos.

Quadro 20 - Objetivos da simulação computacional no projeto do sistema automatizado (continua)

Objetivo	Como	Resultado	Análise
a) Determinar a capacidade de estocagem de paletes do armazém	Simulando a paletização das embalagens correspondente a um dia de produção	Número de paletes gerados em um dia de produção	Comparar o número de paletes produzidos em um dia de produção e suas respectivas alturas com o número máximo de posições de estocagem em função dos requisitos de projeto (área disponível para implementar o armazém e altura útil da edificação)
b) Determinar a quantidade de transportadores autônomos	Simulando o transporte da quantidade de paletes correspondente a um dia de produção até a armazenagem	Tempo total necessário para transportar os paletes correspondente a um dia de produção até a área de armazenagem	Comparação do tempo necessário para transportar a quantidade total de paletes de um dia de produção com o tempo de uma jornada de trabalho

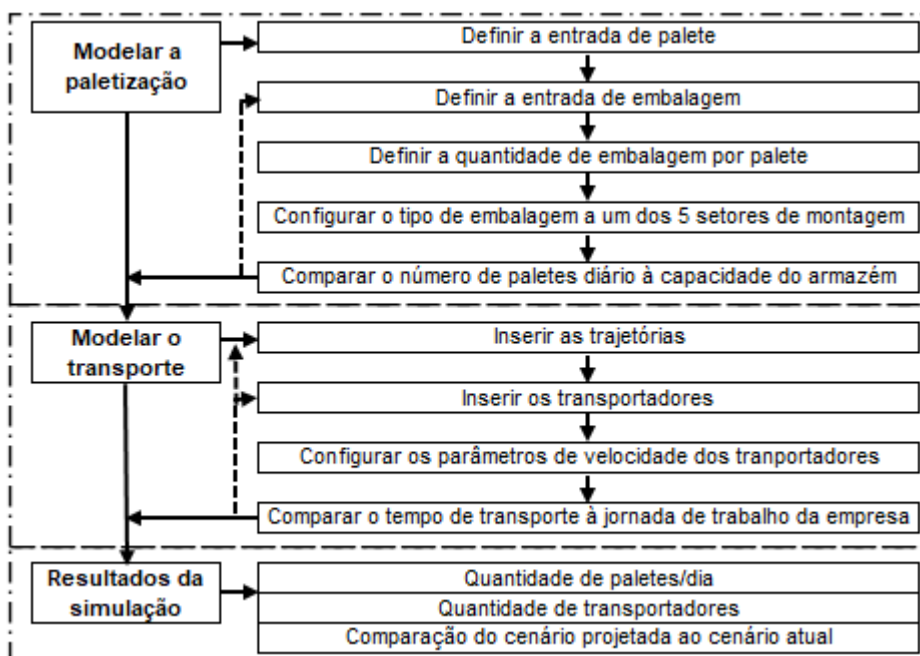
Quadro 20 - Objetivos da simulação computacional no projeto do sistema automatizado (conclusão)

b) Determinar a quantidade de transportadores autônomos	Simulando o transporte da quantidade de paletes correspondente a um dia de produção até a área de produtos separados	Tempo total necessário para transportar os paletes correspondente a um dia de produção até a área de produtos separados	Comparação do tempo necessário para transportar a quantidade total de paletes de um dia de produção com o tempo de uma jornada de trabalho
	Simulando o transporte da quantidade de paletes correspondente a capacidade máxima do armazém até a armazenagem	Tempo total necessário para transportar os paletes correspondente a capacidade máxima do armazém até a área de armazenagem	
	Simulando o transporte da quantidade de paletes correspondente a capacidade máxima do armazém até a área de produtos separados	Tempo total necessário para transportar os paletes correspondente a capacidade máxima do armazém até a área de produtos separados	
c) Avaliação do desempenho do sistema automatizado em relação ao estado produtivo atual	Simulando o transporte da quantidade de paletes correspondente a um dia de produção e a capacidade máxima do armazém até o armazém	Tempo total necessário para transportar os paletes correspondente a um dia de produção e a capacidade máxima do armazém até o armazém	Comparação dos dados da simulação do sistema automatizado projetado em relação a simulação com os recursos atuais e também com as informações sobre as condições operacionais atuais

Fonte: Autor (2022)

A Figura 48 apresenta o fluxograma de desenvolvimento da simulação computacional.

Figura 48 - Fluxograma das etapas da simulação computacional



Fonte: Autor (2022)

Desta forma, para realizar a simulação computacional é necessário implementar as informações apresentadas na Tabela 1 sobre os 44 tipos de embalagens utilizadas para

acondicionar os produtos e também as informações sobre a forma de paletização das embalagens. Assim, a Tabela 3 apresenta os dados de paletização de cada tipo de embalagem, ou seja, a quantidade de cada tipo de embalagem por palete e a sua respectiva dimensão de altura. O critério utilizado para definir a quantidade máxima de cada tipo de embalagem por palete foi a altura da maior embalagem empregada no sistema, ou seja, limitado a altura de 2050 mm.

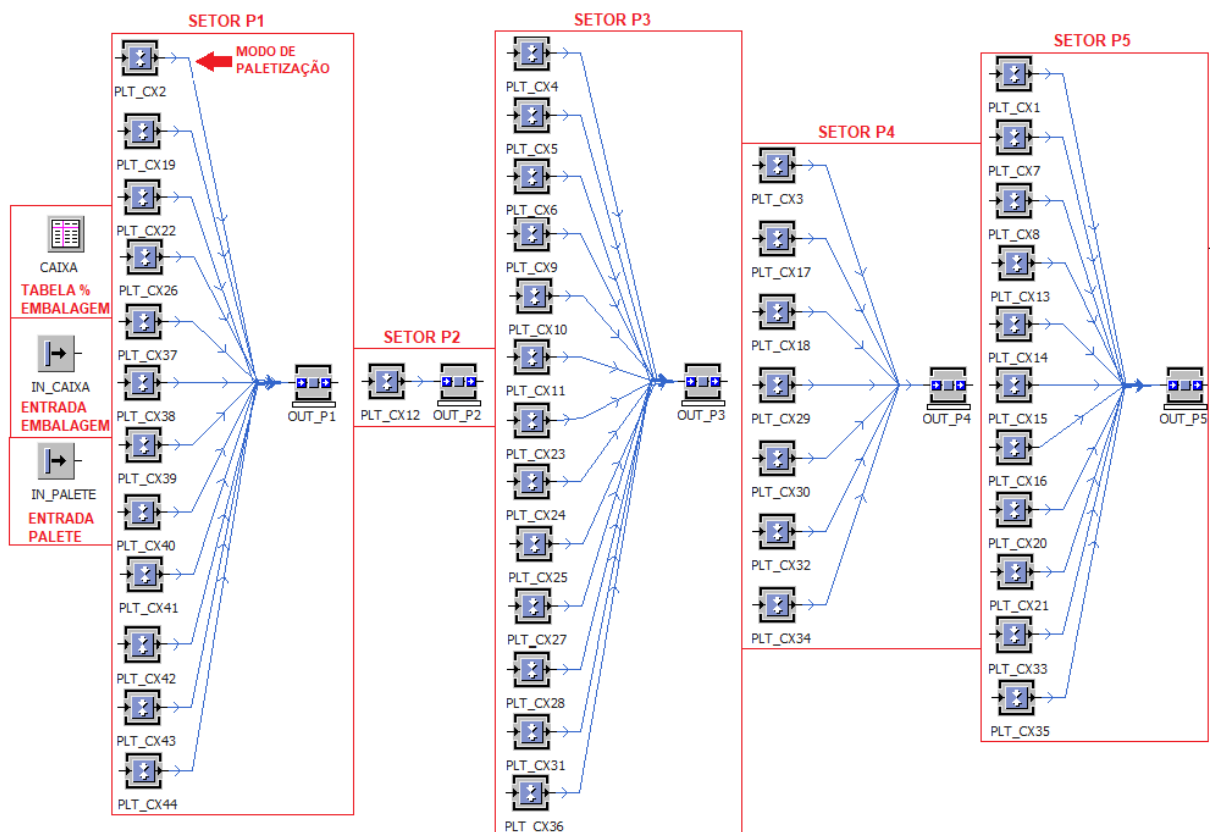
Tabela 3 - Paletização de cada tipo de embalagem

Embalagem	Dimensão (mm)	Embalagens/Nível	Nº. Níveis	Embalagens/Palete	Altura (mm)
4820.001	320 x 630 x 630	4	3	12	1890
2248.001	340 x 630 x 690	4	2	8	1380
3289.002	50 x 400 x 465	72	4	288	1860
1902.001	380 x 630 x 630	4	3	12	1890
2112.001	600 x 700 x 969	2	2	4	1938
3394.001	380 x 630 x 780	4	2	8	1560
2984.001	580 x 650 x 900	2	2	4	1800
0057.001	440 x 490 x 670	4	3	12	2010
0060.001	400 x 635 x 635	3	3	9	1905
0869.001	690 x 770 x 790	1	2	2	1580
3034.001	530 x 660 x 950	2	2	4	1900
2360.001	260 x 370 x 370	12	5	60	1850
3563.002	160 x 630 x 630	10	3	30	1890
1565.001	440 x 490 x 750	4	2	8	1500
2985.001	580 x 580 x 800	4	2	8	1600
0637.001	420 x 420 x 590	4	3	12	1770
0059.001	400 x 570 x 570	6	3	18	1710
2136.002	310 x 405 x 470	6	4	24	1880
2137.002	305 x 305 x 470	9	4	36	1880
0638.001	270 x 360 x 600	12	3	36	1800
4702.001	470 x 640 x 900	2	2	4	1800
3033.001	580 x 620 x 1140	2	1	2	1140
2349.001	630 x 700 x 915	1	2	2	1830
1627.001	650 x 700 x 1120	1	1	1	1120
3358.001	340 x 630 x 940	4	2	8	1880
3645.001	750 x 800 x 1300	1	1	1	1300
3646.001	750 x 800 x 850	1	2	2	1700
1998.001	470 x 710 x 1120	2	1	2	1120
5406.002	435 x 455 x 455	4	4	16	1820
3014.001	550 x 560 x 600	4	3	12	1800
3296.001	490 x 720 x 970	2	2	4	1940
3644.001	750 x 800 x 1800	1	1	1	1800
4713.002	620 x 720 x 730	1	2	2	1460
0058.001	210 x 560 x 550	10	3	30	1650
6639.001	530 x 550 x 845	4	2	8	1690
4727.001	800 x 850 x 1700	1	1	1	1700
5334.001	240 x 730 x 1380	6	1	6	1380
5315.001	430 x 1060 x 1220	2	1	2	1220
2325.001	300 x 630 x 1950	5	1	5	1950
5805.001	100 x 710 x 1210	16	1	16	1210
6639.002	550 x 530 x 845	4	2	8	1690
4986.001	810 x 870 x 2050	1	1	1	2050
3668.001	390 x 475 x 725	6	2	12	1450
1853.002	175 x 520 x 520	12	3	36	1560

Fonte: Autor (2022)

Portanto, o modelo computacional que representa o processo de paletização das embalagens que ocorre nos 5 setores de montagem foi desenvolvido por meio de uma entrada das embalagens, uma entrada dos paletes e 44 modos de paletização, que conforme o tipo da embalagem são direcionados a uma das 5 saídas. De acordo com a lista de requisitos do projeto do sistema automatizado de armazenagem, a quantidade mínima diária de embalagens é de 3000 unidades. Esta quantidade fixa de embalagens foi especificada no modelo, bem como a quantidade percentual de cada um dos 44 tipos de embalagens apresentada na Tabela 1. A Figura 49 apresenta os recursos utilizados do software Tecnomatix Plant Simulation para modelar o processo de paletização das embalagens dos 5 setores de montagem.

Figura 49 - Modelagem do processo de paletização das embalagens



Fonte: Autor (2022)

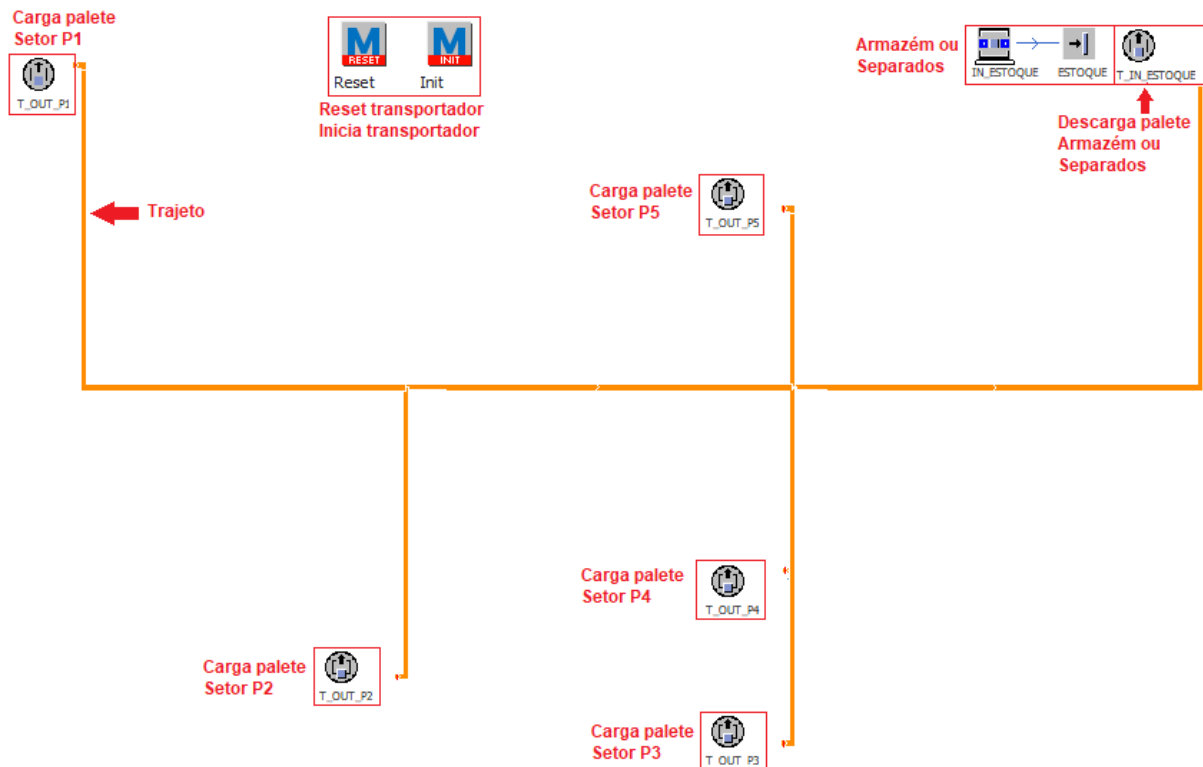
Após a paletização das embalagens é necessário realizar o transporte dos paletes de cada um dos 5 setores de montagem até as posições de estocagem no armazém. Assim, conforme ilustrado na Figura 24, deve-se implementar no modelo computacional estas trajetórias que o transportador irá percorrer. A fim de simplificar o modelo computacional, utilizou a distância entre cada setor de montagem até o centro da área disponível para a armazenagem, conforme apresentado na Tabela 2. Porém, quando o destino final é a área de produtos separados para o

carregamento, deve-se acrescentar a estas distâncias 17 m, pois esta é a distância entre o centro da área do armazém até o centro da área de produtos separados para o carregamento.

Em relação ao transportador configurou-se com uma velocidade de deslocamento de 96 m/min, ou seja, 80% da velocidade de deslocamento apresentada no Quadro 17. Isto deve-se ao fato de que neste trajeto o transportador deverá ter algumas perdas de velocidade em função do tempo de aceleração e desaceleração e também devido a velocidade de elevação de carga ser de 45 m/min. Além disto, no modelo foi considerado que em cada posição de carga e/ou descarga do palete o transportador terá uma perda de 5 segundos, ou seja, um tempo médio gasto com a execução do movimento em velocidade menor para realizar o posicionamento do transportador em relação ao palete, visando realizar a carga e/ou descarga do palete sobre os garfos do transportador.

A Figura 50 apresenta os recursos utilizados do software Tecnomatix Plant Simulation para modelar o processo de transporte das embalagens dos 5 setores de montagem.

Figura 50 - Modelagem do processo de transporte das embalagens



Fonte: Autor (2022)

Visando obter dados comparativos do sistema automatizado proposto em relação ao sistema produtivo atual, modelou-se o transporte realizado atualmente por meio de 2 empilhadeiras elétricas que possuem a velocidade máxima de deslocamento de 80 m/min e a

velocidade máxima de elevação de carga de 10 m/min e também por 3 paleteiras manuais que possuem a velocidade máxima de deslocamento de 50 m/min e a velocidade máxima de elevação de carga de 1,2 m/min, conforme detalhado anteriormente no item 3.1 deste trabalho. Assim, configurou-se na simulação os 5 transportadores com uma velocidade de deslocamento média de 49,6 m/min, ou seja, também utilizou somente 80% da velocidade de deslocamento média máxima dos 5 equipamentos de transporte.

No entanto, devido à operação dos equipamentos de transporte ser executada por colaboradores que realizam paradas para a ginástica laboral, necessidades pessoais e entre outros motivos, deve-se considerar que o tempo de trabalho efetivo de cada colaborador é de 82% do tempo da jornada de trabalho da empresa, ou seja, como a jornada de trabalho é de 8h48min, o tempo de trabalho efetivo de cada trabalhador será de 7h12min57seg. Assim, o tempo de operação diária de cada um dos 5 equipamentos de transporte será de no máximo 7h12min57seg.

3.3.3 Conclusão do desenvolvimento do projeto

Este capítulo apresentou o desenvolvimento do projeto de um sistema automatizado de logística interna para produtos embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos a partir da aplicação das três primeiras etapas da metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005).

A primeira etapa desta metodologia permitiu realizar o detalhamento do ambiente em que o projeto será aplicado e listar o que se pretende solucionar com a implantação deste projeto. Além de estabelecer os requisitos de projeto que contemplaram as necessidades, exigências e desejos para o sistema logístico automatizado a ser projetado, visando incorporar as características necessárias para uma operação eficiente e segura. A elaboração da lista de requisitos do projeto tem se mostrado de elevada importância, pois atua como direcionador da execução de cada uma das atividades subsequentes propostas pela metodologia de projeto de Pahl et al. (2005).

Na sequência, a segunda etapa desta metodologia permitiu desenvolver as características funcionais necessárias ao sistema logístico automatizado, buscar e avaliar de forma qualitativa e quantitativa as soluções possíveis de serem empregadas na realização deste projeto e convergir para uma variante de solução com maior potencial de implementação, culminando com a apresentação do projeto conceitual do sistema logístico automatizado.

E na terceira etapa desta metodologia, utilizando como base o projeto conceitual que foi desenvolvido, primeiramente realizou-se o detalhamento de forma clara dos materiais, dispositivos, equipamentos e softwares necessários para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado e que estão disponíveis comercialmente. E em seguida, a partir das informações destes elementos foi apresentado as diretrizes para a execução da simulação computacional a ser realizada no software Tecnomatix Plant Simulation, a fim de finalizar o dimensionamento do sistema logístico automatizado e validar o atendimento as exigências apresentadas da lista de requisitos do projeto.

Portanto, a utilização de uma metodologia para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado está proporcionando solidez e confiabilidade no andamento do projeto, e conseqüentemente direcionando os resultados obtidos em cada uma das etapas para alcançar o objetivo principal deste trabalho.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As informações obtidas através da revisão bibliográfica foram de suma importância para o desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado, pois apresentaram soluções e alternativas que muitas vezes melhoram ou até mesmo facilitam o seu desenvolvimento. Através dessa primeira etapa foi possível realizar o estudo de novas tecnologias e sistemas autônomos, para viabilizar a possibilidade da continuação do projeto.

Na sequência, aplicou-se as três primeiras etapas de desenvolvimento de projeto da metodologia proposta por Pahl et al. (2005). Desta forma, na primeira etapa realizou-se o detalhamento da abrangência e necessidade do projeto, na segunda etapa de forma didática e estruturada obteve-se o projeto conceitual do sistema logístico automatizado e na terceira etapa apresentou-se as especificações técnicas dos itens que serão utilizados na execução do projeto. O projeto conceitual obtido está baseado na viabilidade técnica segundo critérios qualitativos e quantitativos que visam alcançar o objetivo geral deste trabalho, ou seja, obter um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos.

Após o detalhamento técnico dos transportadores autônomos e do sistema de armazenagem, executou-se as simulações computacionais no software Tecnomatix Plant Simulation a fim de obter a capacidade de estocagem de paletes no armazém e o número de transportadores autônomos necessários no sistema automatizado. Assim, segundo os critérios apresentados anteriormente, ao simular o processo de paletização da quantidade de embalagens movimentadas em um dia de produção, obtêm-se que são necessários um total de 431 paletes, conforme detalhado na Tabela 4. Pode-se observar que 67,1% dos paletes são gerados nos setores P3, P4 e P5, ou seja, nos setores mais próximos ao armazém, pois a maior distância média destes setores até o armazém corresponde a montagem P3 que é de 49 m.

Tabela 4 - Quantidade de paletes correspondentes a um dia de produção

Montagem	Paletes	Percentual (%)
P1	77	17,9
P2	65	15,0
P3	84	19,5
P4	130	30,2
P5	75	17,4
TOTAL	431	100

Fonte: Autor (2022)

Segundo a lista de requisitos a área total atualmente disponível para implementar o

sistema de armazenagem é de 750 m² e baseado nas informações sobre o transportador selecionado que foram apresentadas no Quadro 17, a largura mínima dos corredores será de 1950 mm. Acrescidas as informações dimensionais da configuração do porta palete apresentada na Figura 46, obtém-se a distribuição das prateleiras no armazém conforme ilustrado na Figura 51.

Figura 51 - Distribuição das prateleiras no armazém



Fonte: Autor (2022)

Portanto, a área total a ser ocupada pelo armazém será de 745,25 m², sendo composta de 2 estantes simples e 5 estantes duplas com um comprimento de 9 longarinas, totalizando uma capacidade máxima de armazenagem de 648 paletes. Deste modo, o sistema de armazenagem proposto possui uma capacidade instalada de 50,35% superior a demanda diária atual, ou seja,

permite armazenar 217 paletes a mais da necessidade atual.

Os corredores entre as prateleiras serão de 2300 mm, pois reduzir a largura dos corredores para 1950 mm não proporciona espaço suficiente para o acréscimo do número de prateleiras a serem instaladas no espaço físico atualmente existente. Desta forma, preferiu-se melhorar a movimentação dos transportadores ao facilitar a realização das manobras de colocação e retirada dos paletes das prateleiras através de corredores mais largos.

A Tabela 5 apresenta os dados referente a quantidade de paletes movimentados diariamente para cada tipo de embalagem que foram obtidos através da simulação computacional e relaciona com as alturas de paletização correspondentes a cada tipo de embalagem apresentadas na Tabela 3.

Tabela 5 - Demanda diária de paletes por tipo de embalagem e suas respectivas alturas de paletização

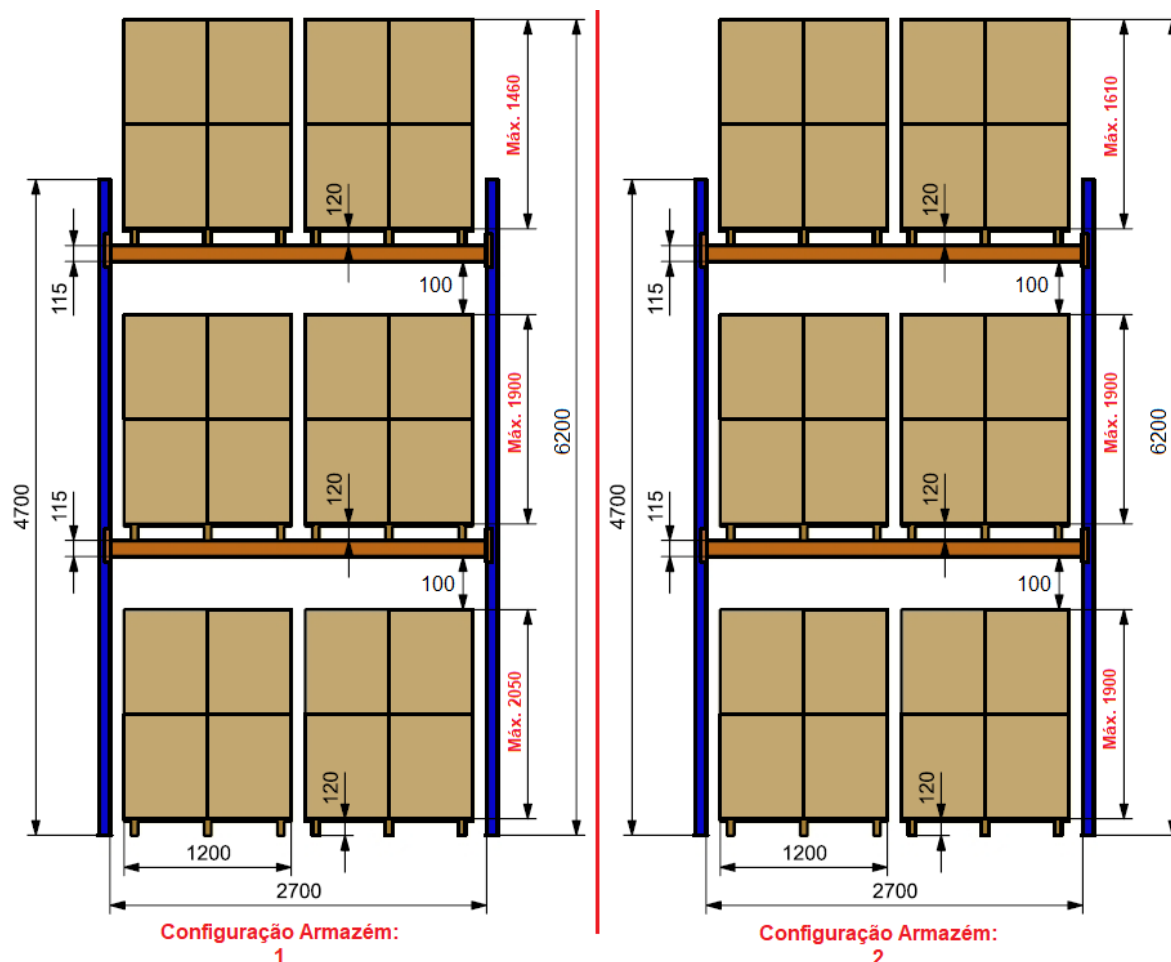
Embalagem	Paletes	Altura	Embalagem	Paletes	Altura	Embalagem	Paletes	Altura
4820.001	65	1890	0637.001	4	1770	3296.001	2	1940
2248.001	50	1380	0059.001	2	1710	3644.001	7	1800
3289.002	1	1860	2136.002	2	1880	4713.002	3	1460
1902.001	18	1890	2137.002	1	1880	0058.001	1	1650
2112.001	42	1938	0638.001	1	1800	6639.001	1	1690
3394.001	19	1560	4702.001	7	1800	4727.001	4	1700
2984.001	32	1800	3033.001	12	1140	5334.001	1	1380
0057.001	10	2010	2349.001	12	1830	5315.001	2	1220
0060.001	8	1905	1627.001	21	1120	2325.001	1	1950
0869.001	31	1580	3358.001	3	1880	5805.001	1	1210
3034.001	15	1900	3645.001	18	1300	6639.002	1	1690
2360.001	1	1850	3646.001	7	1700	4986.001	1	2050
3563.002	2	1890	1998.001	6	1120	3668.001	1	1450
1565.001	6	1500	5406.002	1	1820	1853.002	1	1560
2985.001	6	1600	3014.001	1	1800	TOTAL	431	-

Fonte: Autor (2022)

A partir dos dados da Tabela 5 é possível definir as alturas máximas das cargas sobre os paletes dos 3 níveis de armazenamento (Altura N1, Altura N2 e Altura N3) do porta palete ilustrado na Figura 46, conforme explicado anteriormente a soma destas 3 alturas está limitada a 5410 mm. Desta forma, propôs-se a implantação de duas configurações de montagem das alturas das longarinas do porta palete conforme ilustrado na Figura 52. A configuração de armazenagem 1 visa depositar prioritariamente os paletes nos níveis N1, N2 e N3 que possuem as alturas respectivamente acima de 1900 mm até 2050 mm, acima de 1460 mm até 1900 mm e abaixo de 1460 mm. Porém se esta configuração for implementada em todo o armazém, o nível N3 ficará muito ocioso devido haver baixa demanda e acabará faltando posições para armazenar paletes com alturas maiores. Assim, propôs-se implementar em conjunto a configuração de armazenagem 2 que visa depositar prioritariamente os paletes nos níveis N1 e

N2 que possuem as alturas acima de 1610 mm até 1900 mm e no nível N3 paletes com alturas até 1610 mm.

Figura 52 - Altura máxima da paletização em cada nível do porta palete no armazém



Fonte: Autor (2022)

Portanto, a Tabela 6 demonstra a quantidade de paletes correspondentes a cada uma das faixas de alturas de armazenagem para a demanda diária atual e projetada proporcionalmente esta quantidade para a capacidade máxima do armazém.

Tabela 6 - Quantidade de paletes correspondentes a cada uma das faixas de alturas de armazenagem

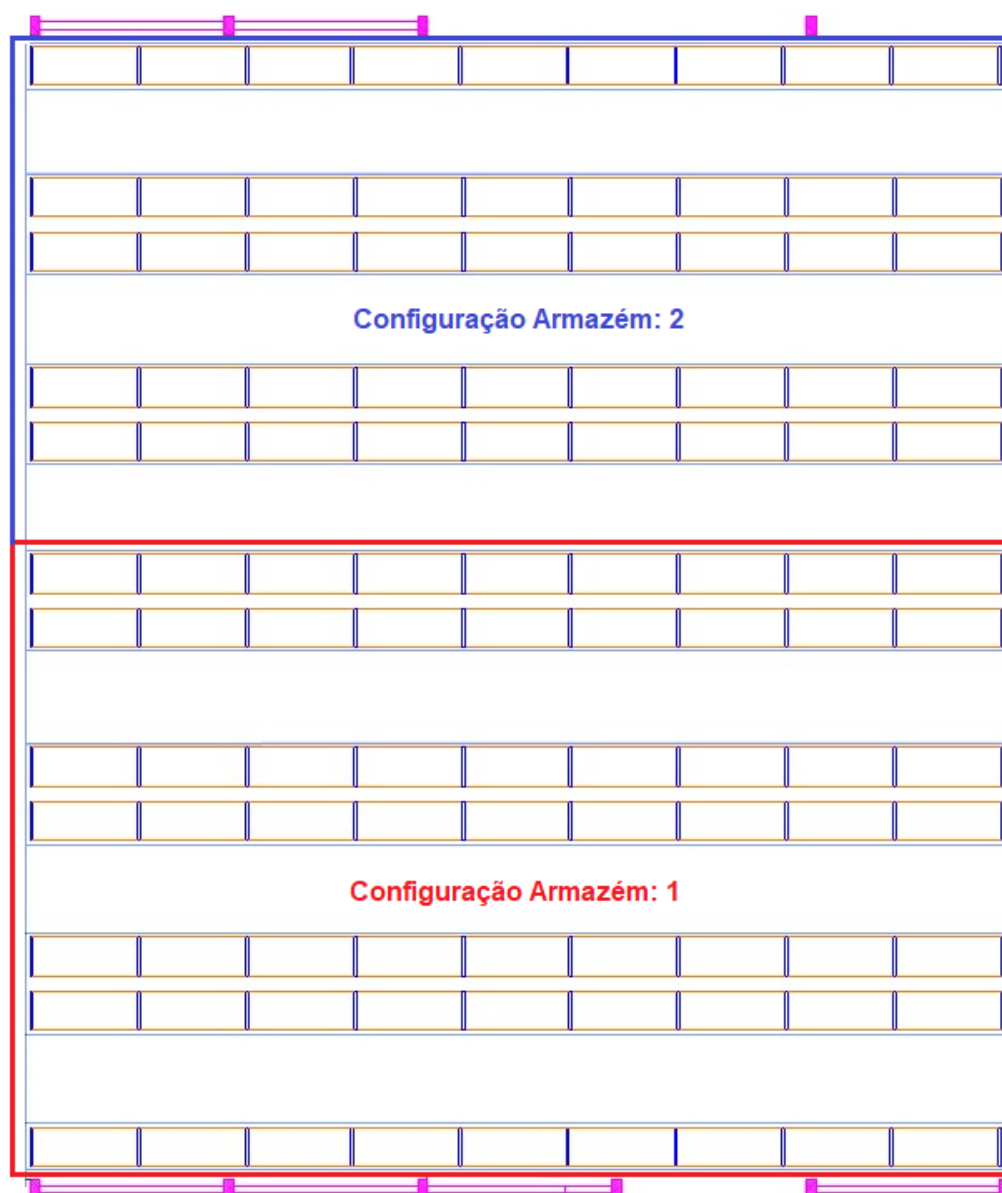
Altura das embalagens paletizadas	Paletes / Demanda diária	Paletes / Capacidade armazém
Até 1460 mm	112	168
Acima de 1460 mm até 1610 mm	66	99
Acima de 1610 mm até 1900 mm	174	262
Acima de 1900 mm até 2050 mm	79	119
TOTAL	431	648

Fonte: Autor (2022)

A partir da projeção da quantidade de paletes e as respectivas alturas das embalagens

após a paletização executou-se a divisão do armazém segundo as duas configurações de montagem propostas para as alturas das longarinas, utilizando como critério o número de paletes que possuem altura acima de 1900 mm e ajustando este número acima de forma que toda a fileira de longarinas possuísse a mesma configuração. A Figura 53 ilustra a distribuição das prateleiras no armazém segundo as duas configurações de montagem das alturas das longarinas.

Figura 53 - Distribuição das prateleiras com as duas configurações de montagem das alturas das longarinas



Fonte: Autor (2022)

A capacidade de estocagem de paletes por faixa de altura das embalagens paletizadas após a divisão do armazém segundo as duas configurações de montagem de alturas das

longarinas é apresentado na Tabela 7. Realizando a comparação dos valores da Tabela 7 com os valores projetados da Tabela 6 observa-se que o armazém irá atender a todas as variações de altura das embalagens paletizadas, pois possui posições de estocagem de paletes com alturas mais elevadas acima da quantidade projetada na Tabela 6, ou seja, posições mais críticas.

Tabela 7 - Capacidade de estocagem de paletes por altura das embalagens paletizadas após a divisão do armazém

Altura das embalagens paletizadas	Paletes
Até 1460 mm	126
Acima de 1460 mm até 1610 mm	90
Acima de 1610 mm até 1900 mm	306
Acima de 1900 mm até 2050 mm	126
TOTAL	648

Fonte: Autor (2022)

Após foi avaliado o tempo gasto pelos transportadores para atender a demanda produtiva conforme descrito no Quadro 20 - item b, ou seja, simulando o transporte de duas quantidades diferentes de paletes (demanda atual e capacidade do armazém) até dois destinos diferentes (até o armazém e até a área de produtos separados para o carregamento). Avaliou-se o tempo de transporte para dispor os paletes até na área de produtos separados para o carregamento visando verificar a possibilidade de o transportador conseguir completar todo o ciclo de transporte dos paletes sem a necessidade de interferência adicional. Assim, para definir o número ideal de transportadores a serem implementados no sistema logístico automatizado, simulou-se a movimentação dos paletes com quantidades diferentes de transportadores, sendo obtido o tempo necessário aos transportadores para atender a demanda produtiva, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Avaliação dos transportadores em diferentes cenários

Destino	Paletes	Percurso total (km)	Tempo (h:min:s)	Transportadores
Armazém	431	54,7	10:42:07	1
Separados	431	69,4	14:26:46	1
Armazém	648	81,7	15:59:30	1
Separados	648	103,7	21:37:10	1
Armazém	431	54,7	05:21:03	2
Separados	431	69,4	07:13:23	2
Armazém	648	81,7	07:59:45	2
Separados	648	103,7	10:48:35	2
Armazém	431	54,7	03:34:02	3
Separados	431	69,4	04:48:55	3
Armazém	648	81,7	05:19:50	3
Separados	648	103,7	07:12:23	3

Fonte: Autor (2022)

Desta forma, simulando estes 4 cenários iniciais considerando um único transportador,

o tempo necessário para realizar estes transportes em todos os cenários ficaram acima do tempo da jornada de trabalho da empresa que é de 8h48min. Assim, repetiu-se as simulações em cada cenário utilizando 2 transportadores e se observou que para a demanda diária atual de 431 paletes, os transportadores conseguem dispor os paletes até na área de produtos separados necessitando de um tempo inferior ao tempo correspondente a jornada de trabalho da empresa.

No entanto, quando a quantidade de produção diária atingir o número de paletes correspondente a capacidade máxima do armazém que é de 648 paletes, 2 transportadores conseguem realizar o transporte destes paletes até as posições de estocagem no armazém com um tempo abaixo de 8 horas. Porém, não conseguem dispor esta demanda também até na área de produtos separados durante a jornada de trabalho da empresa, necessitando operar 2 horas a mais. Deste modo, repetiu-se novamente as simulações em cada cenário utilizando 3 transportadores e em todos os casos observou-se o atendimento as condições de produção. Contudo, adicionar três transportadores não é a opção mais viável financeiramente devido a ociosidade em que os transportadores ficarão expostos, pois no cenário de maior demanda os três transportadores somente irão atuar em 81,9% da jornada de trabalho da empresa, ou seja, é o equivalente a um dos transportadores atuar somente 45,5% da jornada de trabalho da empresa.

Então, buscando outras alternativas para reduzir o investimento em transportadores, avaliou-se o fato de que devido ao sistema de transporte ser autônomo, não há a necessidade de que o transportador atue somente durante a jornada de trabalho da empresa. Mas os produtos devem estar disponíveis na área destinada aos produtos separados para o carregamento durante a jornada de trabalho da empresa, ou seja, durante a jornada de trabalho do setor de carregamento. E também cada setor de montagem possui a capacidade de manter até 2 paletes carregados, necessitando remover ao menos um palete para que a produção não seja afetada por motivo de falta de espaço físico para paletizar os produtos embalados.

Portanto, realizou-se uma simulação computacional para determinar o tempo gasto pelos transportadores para movimentar os 78 paletes do armazém até a área destinada aos produtos separados para carregamento e também para transportar 2 paletes de cada um dos 5 setores de montagem até o armazém. Como a jornada de trabalho da empresa é intercalada por um intervalo de descanso aos colaboradores, o conjunto de movimentações descritas poderão ser executadas duas vezes ao dia, ou seja, inclusive durante o intervalo dos colaboradores e após o fim da jornada de trabalho dos colaboradores.

A Tabela 9 apresenta o tempo que os transportadores precisam para movimentar os paletes conforme descrito e que podem ser executados fora da jornada de trabalho da empresa. Observa-se que 2 transportadores necessitam cerca de uma hora para executar duas vezes o

conjunto de movimentações possíveis de serem desenvolvidas entre as pausas da jornada de trabalho dos colaboradores da empresa. Assim, a diferença do tempo faltante para que os 2 transportadores atendam a demanda total de movimentações no pior cenário apresentado na Tabela 8 diminuiu para cerca de uma hora.

Tabela 9 - Tempo de movimentação dos paletes fora da jornada de trabalho da empresa

Destino	Paletes	Percurso total (km)	Tempo (h:min:s)	Transportadores
Armazém	10	1,8	00:10:45	2
Separados	78	2,6	00:20:23	2
TOTAL	-	-	00:31:08	-
Armazém	20	3,6	00:21:29	2
Separados	156	5,2	00:40:47	2
TOTAL	-	-	01:02:16	-

Fonte: Autor (2022)

Neste caso, uma segunda alternativa somada a anterior que permitirá que apenas 2 transportadores atendam a demanda de movimentações é alterar o horário de início da jornada de trabalho em duas horas do setor de carregamento dos produtos paletizados que se encontram na área de produtos separados. Pois a taxa por hora de saída dos paletes da área de produtos separados é de 50% da capacidade de movimentação de paletes executada por 2 transportadores. Assim, ao adiantar o início do trabalho do setor de carregamento haverá a liberação do espaço na área de produtos separados para que sejam depositados mais paletes, permitindo aos transportadores trabalharem no abastecimento dos paletes para este destino e posteriormente atuarão no outro.

Com o objetivo de comparar a capacidade de transporte dos equipamentos atualmente utilizados em relação aos transportadores autônomos, realizou-se a simulação computacional da movimentação dos paletes dos 5 setores de montagem até a área de armazenagem em dois cenários, com a quantidade atual e com a nova quantidade que será possível através da implantação dos porta paletes no armazém. A Tabela 10 apresenta o tempo que os transportadores atualmente utilizados na empresa necessitam para realizar os transportes dos paletes.

Tabela 10 - Tempo de movimentação dos paletes por meio dos transportadores atuais

Destino	Paletes	Tempo (h:min:s)	Transportadores
Armazém	431	03:54:14	5
Armazém	648	05:49:53	5

Fonte: Autor (2022)

Observa-se que atualmente os 5 colaboradores que operam os equipamentos de

transporte atuam cerca de 4 horas realizando as movimentações dos paletes e que a nova demanda produtiva irá provocar um aumento de cerca de 50% deste tempo. Assim, do tempo efetivo de trabalho diário de cada colaborador representa respectivamente 54,1% e 80,8% do tempo executando as movimentações dos paletes. Portanto, a estrutura de movimentação atual suporta o aumento da produção. Porém, os colaboradores que operam estes equipamentos também desenvolvem outras atividades e conseqüentemente deixaram de executar por falta de tempo.

Por outro lado, atualmente o processo operacional de localização e separação dos produtos para serem carregados é realizado por 3 colaboradores em tempo integral, assim com o aumento de 50% da produção necessitaria adicionar mais 2 colaboradores para estas funções. No entanto, o espaço físico da área de armazenagem é limitado e não suporta uma produção maior em função de utilizar somente o nível do piso para a armazenagem. E ao adicionar os porta paletes no armazém os problemas de identificação e rastreabilidade dos produtos oriundos da forma de trabalho atual deverão continuar e tendem a se agravar com o aumento da produção. Além de aumentar a ocorrência de movimentações desnecessárias dos produtos.

Desta forma, os principais benefícios obtidos com a implantação do sistema automatizado de logística em relação ao processo atualmente utilizado são:

a) Aumento da capacidade de armazenagem de paletes dos produtos embalados em 224%, ou seja, ao implementar as estruturas porta paletes no armazém poderá ser depositado até 648 paletes e atualmente são armazenados no máximo 200 paletes somente ao nível do piso;

b) Aumento da capacidade logística diária de produtos embalados e paletizados em 50%, ou seja, será possível movimentar e armazenar até 648 paletes, sendo que a produção diária atual é de 431 paletes;

c) Redução de no mínimo 8 colaboradores envolvidos nas atividades de transporte, localização e separação dos produtos para serem expedidos com um volume de produção diária de 431 paletes, mas ao aumentar a produção diária para 648 paletes tem-se uma redução de no mínimo 10 colaboradores;

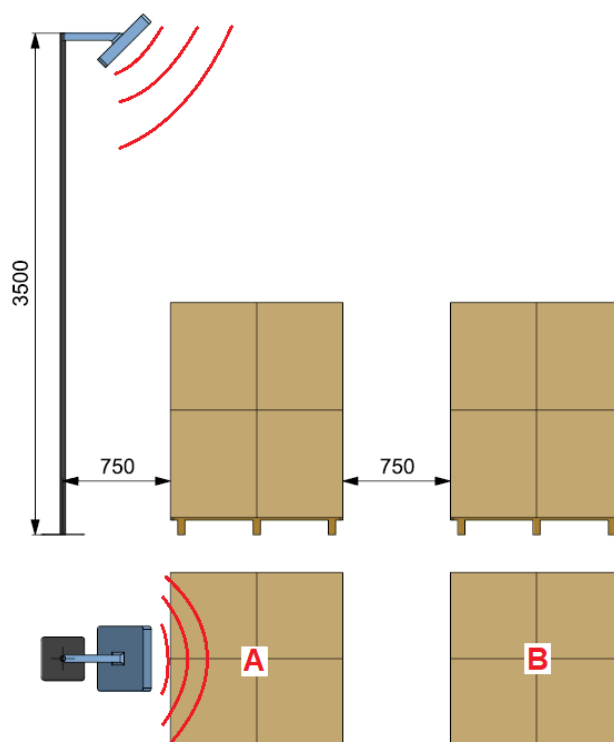
d) Com a implementação deste projeto haverá uma alta eficiência na rastreabilidade dos produtos durante as operações logísticas, proporcionando um aumento da segurança e controle na execução das atividades envolvidas nos processos logísticos e conseqüentemente será eliminado a ocorrência de erros de identificação dos produtos e envio indevido aos clientes.

4.1 Projeto detalhado

A quarta etapa (Fase IV) da metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005) visa apresentar o projeto detalhado para a implantação, ou seja, será apresentado o layout final do sistema logístico automatizado com a relação de equipamentos e acessórios utilizados. Neste sentido, o software de gerenciamento do sistema logístico automatizado empregado neste projeto é o Senior WMS. O sistema irá trabalhar integrado ao software ERP da empresa. Desta forma, terá acesso as informações dos produtos a serem produzidos e consequentemente irá executar o planejamento da paletização dos produtos e do local de estocagem no armazém. Através dos leitores das etiquetas RFID de identificação dos produtos instalados nos setores de montagem e nos transportadores o software de gerenciamento receberá as informações dos produtos em processamento em tempo real e realizará as diretrizes de controle das movimentações aos transportadores autônomos.

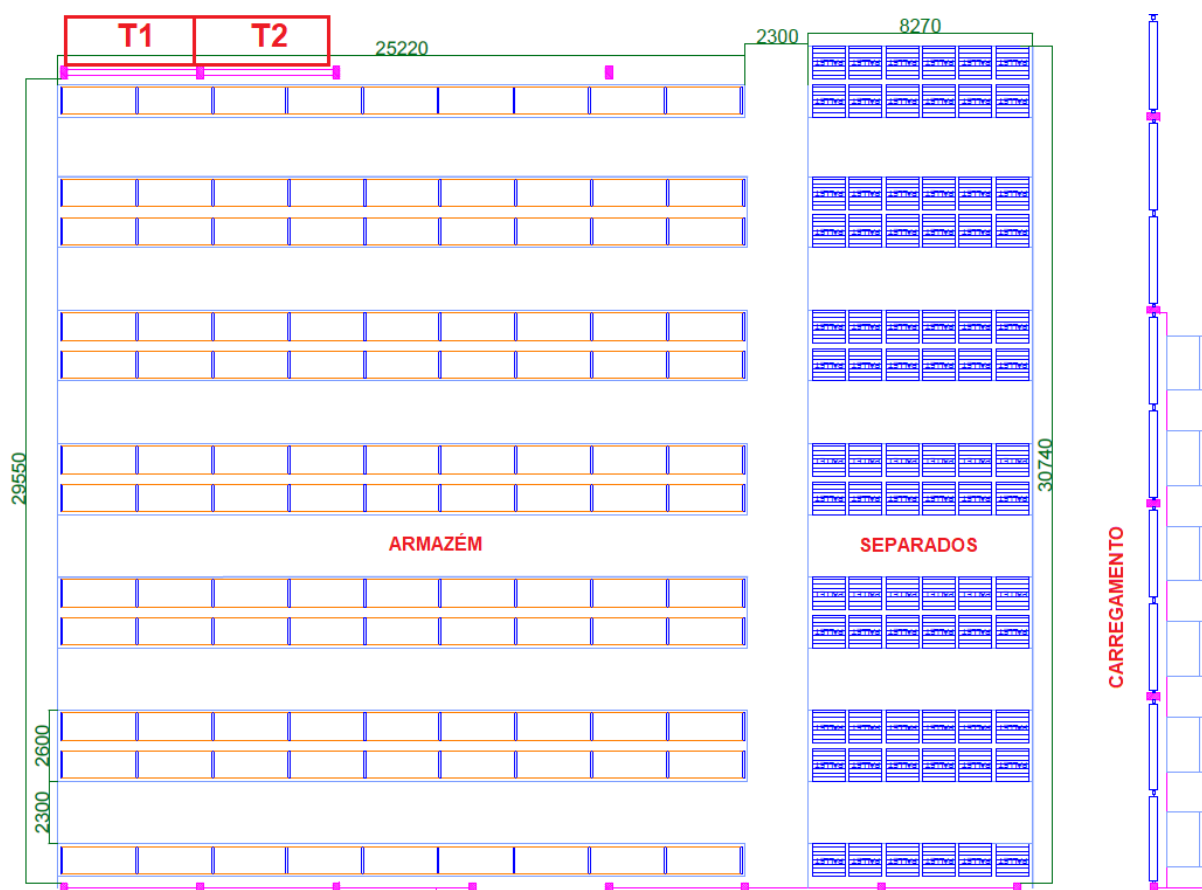
A Figura 54 apresenta a posição de fixação do pedestal do leitor de etiquetas RFID a ser instalado em cada um dos 5 setores de montagem. O pedestal deve ser instalado de forma a permitir a realização da leitura das etiquetas de RFID presentes em cada uma das embalagens posicionadas sobre os paletes situados nos dois locais marcados no piso (Local A e Local B) de cada setor de montagem.

Figura 54 - Posição do leitor de etiquetas RFID nos setores de montagem



Desta forma, conforme que as embalagens de produtos são posicionadas sobre o palete, o software de gerenciamento irá receber estas informações e no momento em que a última embalagem for posicionada, ocorre a solicitação de transporte deste palete até o local pré-estabelecido no armazém. O armazém possui uma capacidade de 648 paletes distribuídos em uma área de 745,25 m² e 3 níveis de estocagem formados por duas configurações de montagem das longarinas conforme especificado anteriormente. Após a área do armazém tem-se a área destinadas aos produtos separados e preparados que serão expedidos. A área de separados utiliza um espaço físico de 254,2 m² e suporta até 78 paletes distribuídos somente no nível do piso. A Figura 55 apresenta o layout final das áreas de armazenagem, produtos separados e carregamento.

Figura 55 - Layout final das áreas de armazenagem, produtos separados e carregamento



Fonte: Autor (2022)

Os pontos “T1” e “T2” demarcados no início do armazém e ilustrado na figura acima referem-se aos locais destinados aos transportadores autônomos aguardarem as ordens de transporte dos paletes e também realizarem o carregamento de suas baterias após o fim do expediente diário.

Portanto, após a aplicação das quatro etapas da metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005) e a realização das simulações computacionais no software Tecnomatix Plant Simulation é possível apresentar a relação dos equipamentos e acessórios a serem utilizados na execução do projeto do sistema logístico automatizado, conforme destacado na Tabela 11.

Tabela 11 - Equipamentos e acessórios a serem utilizados na execução do projeto

Item	Quantidade
Software de gerenciamento Senior WMS	1 un.
Etiqueta de identificação do modelo AcuTag UHF DogBone - 27 x 97 mm	3000 - 4600 un./dia
Impressora e codificadora de etiquetas RFID do modelo CL4NX - SATO	1 un.
Leitor e antena de etiquetas RFID M-ID12L - VIAONDA	5 un.
Suporte de fixação do leitor de etiquetas RFID M-ID12L	5 un.
Empilhadeira AMR do modelo AWT12ct com garfo telescópico - ROCLA	2 un.
Montantes do modelo 81 - 1100 x 4700 mm	120 un.
Longarinas do modelo L2C-115415 - 2700 mm	648 un.
União de montante - 300 mm	20 un.
Trava de segurança	1296 un.
Proteção de coluna - 400 mm	96 un.
Proteção de montante - 1100 mm e 2600 mm	14 un.
Indicadores de seção - 1100 x 550 mm	14 un.
Parabolt Pba 3/8" x 3"	260 un.
Cabo PP flexível 3 x 1,5mm 300V/500V	150 m
Cabo de rede (Cftv) Cat 5-E antichama	200 m
Conector para cabo de rede Ez-RJ45 Vazado Cat5e	14 un.
Roteador wireless com 6 antenas D-LINK DIR-3040 AC3000	3 un.

Fonte: Autor (2022)

4.1.1 Avaliação do projeto em relação a lista de requisitos

O Quadro 21 apresenta uma avaliação do atendimento as exigências apresentadas na lista de requisitos do projeto (Quadro 5) em relação ao projeto completamente detalhado.

Quadro 21 - Avaliação do atendimento da lista requisitos do projeto (continua)

Linha Mestra	D/E	Requisitos	Status
Geometria	E	1) A dimensão do palete padrão utilizado é de 1,20 x 1,20 x 0,12 m, que deverá ser transportado e armazenado.	Atendido: a paletização das embalagens não ultrapassará a dimensão de 1,2 x 1,2 m
	E	2) A maior dimensão da embalagem que deverá ser transportada e armazenada é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.	Atendido: as travessas do porta palete foram posicionadas de modo a permitir a armazenagem da maior embalagem
	E	3) O deslocamento máximo necessário desde o setor de montagem dos produtos até a área de armazenagem para a expedição é de 134 m.	Atendido: o sistema automatizado de transporte consegue atender esta distância
	E	4) A altura útil do prédio a ser instalado o sistema de armazenamento é de 6,30 m.	Atendido: o sistema de armazenagem foi dimensionado para a altura máxima de 6,3 m

Quadro 21 - Avaliação do atendimento da lista requisitos do projeto (continua)

Linha Mestra	D/E	Requisitos	Status
Geometria	D	5) A área total atualmente disponível para implementar o sistema de armazenagem é de 750 m ² .	Atendido: o sistema de armazenagem utilizará 745,25 m ²
Cinemática	D	1) A velocidade mínima que os transportadores deverão possuir é de 100 m/min.	Atendido: segundo a especificação técnica do transportador autônomo selecionado, a velocidade de deslocamento é de 120 m/min
	D	2) A altura mínima que os transportadores deverão ter a capacidade de elevar a carga no sistema de armazenagem é de 5,0 m.	Atendido: segundo a especificação técnica do transportador autônomo selecionado, a altura máxima é de 10,5 m
Carga	E	1) O peso máximo de um palete que deverá ser transportado e armazenado é de 250 kg.	Atendido: segundo a especificação técnica do transportador autônomo selecionado, a capacidade de carga é de 1200 kg
	E	2) O maior volume unitário a ser transportado e armazenado é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.	Atendido: o sistema automatizado foi dimensionado para atender estas dimensões
	E	3) A capacidade mínima de movimentação e armazenagem de paletes diária é de 431 unidades ou 3000 embalagens.	Atendido: o sistema automatizado foi dimensionado para a capacidade máxima do armazém, ou seja, 648 paletes
Energia	D	1) Os equipamentos utilizados deverão possuir alta eficiência energética, ou seja, baixo consumo de energia.	Atendido: os equipamentos possuem alta tecnologia, permitindo baixo consumo energético
	D	2) Os equipamentos utilizados para realizar o transporte dos paletes deverão possuir uma autonomia da carga da bateria de no mínimo 10 horas, ou seja, um turno de trabalho.	Atendido: segundo a especificação técnica do transportador autônomo selecionado, a duração mínima da bateria é de 10 h
Materiais	E	1) Os dispositivos e equipamentos utilizados deverão atender as necessidades e aos esforços que estarão submetidos diariamente.	Atendido: os recursos possuem capacidade de carga superior à demanda
Sinal	E	1) Deverá ser instalado dispositivos de aquisição de dados, sensores e um sistema de gerenciamento dos movimentadores e do sistema de armazenagem, a fim de conseguir ter as informações em tempo real de todo o sistema implementado.	Atendido: os recursos selecionados permitem o monitoramento em tempo real
	E	2) Sistema de identificação/localização dos produtos: deverá ser implementado recursos tecnológicos que possibilitem a rastreabilidade de todos os produtos que serão processados pelo sistema.	Atendido: os recursos selecionados permitem o monitoramento em tempo real
Software	E	1) Sistema de gerenciamento e controle em tempo real: deverá permitir o monitoramento e gerenciamento em tempo real dos produtos em transporte/armazenados e sua localização dentro do armazém, além de possibilitar a emissão de relatórios da situação dos transportadores e do armazém.	Atendido: os recursos selecionados permitem o monitoramento em tempo real

Quadro 21 - Avaliação do atendimento da lista requisitos do projeto (continua)

Linha Mestra	D/E	Requisitos	Status
Segurança	E	1) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão atender as normas vigentes de segurança, tais como: - NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade; - NR 11: Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais; - NR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos; - NR 17: Ergonomia; - NR 26: Sinalização de segurança.	Atendido: os recursos selecionados atendem as exigências das normas regulamentadoras
	E	2) Dispositivos de segurança: os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir dispositivos de segurança, tais como sensores e sistemas de parada de emergência.	Atendido: os recursos selecionados atendem as exigências das normas regulamentadoras
	E	3) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir proteção de partes móveis que os trabalhadores possam ter contato.	Atendido: os recursos selecionados atendem as exigências das normas regulamentadoras
Ergonomia	E	1) Atender as normas e condições ergonômicas dos itens que necessitem interação com o ser humano (NR 17).	Atendido: os recursos selecionados atendem as exigências das normas regulamentadoras
Montagem	D	1) Os equipamentos, dispositivos e estruturas do armazém deverão ser fixados preferencialmente por parafusos, a fim de facilitar o trabalho e ser flexível a mudanças.	Atendido: os recursos utilizados no armazém possuem fixação por encaixes e parafusos
Operação	E	1) Sistema de identificação automático dos produtos: o sistema deverá estar equipado e configurado de modo a identificar automaticamente os produtos e as respectivas dimensões da embalagem, a fim de definir o melhor lugar de armazenagem, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.	Atendido: o sistema logístico automatizado projetado possui os recursos para atender tais requisitos
	E	2) O sistema deverá estar apto a realizar o carregamento automático dos paletes no transportador, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.	Atendido: o transportador autônomo não necessita de auxílio para realizar a tarefa de carga/descarga do palete
	E	3) O sistema deverá estar apto a realizar o transporte dos paletes do setor de montagem até o armazém sem a necessidade de um colaborador, ou seja, de forma automática.	Atendido: o transportador autônomo não necessita de auxílio para realizar as movimentações
	E	4) O sistema deverá estar apto a realizar o endereçamento automático dos paletes no armazém com base nas informações dimensionais das embalagens presentes no palete e a programação de saída do palete do armazém.	Atendido: o sistema logístico automatizado projetado possui os recursos para atender tais requisitos
Manutenção	D	1) O tempo mínimo entre cada manutenção preventiva deverá ser de no mínimo 1 mês, ou seja, alta robustez e baixa intervenção técnica.	Atendido: o transportador autônomo requer manutenção preventiva a cada 3 meses
	D	2) Facilidade de execução da manutenção preventiva: facilidade ao acesso dos componentes com necessidade de manutenção e averiguação de defeitos através do sistema do equipamento.	Atendido: o transportador autônomo atende tais requisitos
	D	3) Facilidade de adquirir os componentes que estarão sujeitos a uma menor vida útil e facilidade de realizar a sua substituição.	Atendido: o transportador autônomo possui recursos com elevada vida útil e baixa intervenção, mas os itens de maior rotatividade possuem fácil reposição

Quadro 21 - Avaliação do atendimento da lista requisitos do projeto (conclusão)

Linha Mestra	D/E	Requisitos	Status
Custos	D	1) O custo total do sistema automatizado deverá ser o mínimo possível para atender os requisitos de projeto de maneira eficiente, devendo estar alinhado com o planejamento estratégico da empresa e a previsão de investimento.	Atendido: o desenvolvimento do projeto buscou aliar alta tecnologia com baixo investimento para atender os objetivos do projeto
	D	2) O sistema deverá possuir baixo custo de manutenção, ou seja, baixa necessidade de intervenção humana para que possa operar de forma eficiente.	Atendido: os recursos selecionados requerem baixa intervenção

Fonte: Autor (2022)

Portanto, de modo geral todos os requisitos de projeto foram atendidos através dos recursos tecnológicos selecionados para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado, conforme detalhado no Quadro 21.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento do projeto de um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. É possível afirmar que este objetivo foi atendido, pois o projeto proposto permite realizar a identificação, movimentação e armazenagem dos produtos embalados e paletizados sem a necessidade da interferência dos colaboradores, com segurança e eficiência e principalmente garantindo a rastreabilidade dos produtos.

Quanto aos objetivos específicos pode-se afirmar que também foram atendidos, pois:

a) Aplicou-se a metodologia de projeto proposta por Pahl et al. (2005) para o desenvolvimento do sistema automatizado dividida em quatro etapas compostas em esclarecimento do projeto (Fase I), o projeto conceitual (Fase II), o projeto preliminar (Fase III) e o projeto detalhado (Fase IV) e devido sua organização contemplar uma estrutura lógica, sistêmica, cíclica e com retornos predefinidos, viabilizaram melhorias até a solução do projeto proporcionando solidez e controle no andamento do projeto. A metodologia também permitiu obter a função global deste projeto que sintetiza o problema a ser solucionado, ou seja, armazenar produtos paletizados de forma autônoma

b) Aplicou-se os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 para desenvolver o sistema automatizado obtidos a partir de pesquisas realizadas em diversas fontes que permitiram conhecer as soluções tecnológicas mais eficientes e robustas aplicáveis ao projeto;

c) Aplicou-se a simulação computacional no software Tecnomatix Plant Simulation para avaliar o desempenho do sistema automatizado proposto e validar o atendimento dos requisitos de projeto, determinar a quantidade de transportadores autônomos e a quantidade mínima de posições de estocagem dos paletes no armazém;

d) Apresentou-se as melhorias que poderão ser obtidas com a implantação do sistema automatizado em relação ao processo utilizado atualmente, ou seja, destacou-se os principais benefícios proporcionados com a implantação do sistema operacional autônomo que não requer a ação direta dos colaboradores para realizar as atividades em relação ao sistema operacional atual que possui forte dependência do trabalho dos colaboradores.

Portanto, o projeto proposto possui um alto potencial de contribuir com o crescimento da empresa, pois através da simulação computacional obteve-se que a capacidade de armazenagem de produtos paletizados aumentará em 224% e a capacidade logística interna em

50%, haverá redução mínima de 8 colaboradores envolvidos nas atividades de transporte, localização e separação dos produtos para serem expedidos e principalmente promoverá alta eficiência na rastreabilidade dos produtos durante as operações logísticas. Assim, a empresa se tornará mais competitiva e de maior credibilidade perante ao mercado, pois através de investimentos em tecnologias será possível reduzir o tempo de resposta ao aumento da demanda do mercado, evitar falhas e retrabalhos, reduzir custos internos e conseqüentemente aumentar a satisfação dos clientes.

5.1 Recomendação de trabalhos futuros

Como recomendação de trabalhos futuros sugere-se a realização de uma avaliação detalhada de todas as funções fundamentais que o software de gerenciamento deve possuir, tendo em vista que o software de gerenciamento é responsável pela eficiência operacional do sistema automatizado de logística. Também é importante realizar orçamentos com os fornecedores de equipamentos e acessórios para a execução da análise de investimento e do retorno sobre o investimento.

E futuramente quando a empresa atingir a capacidade máxima projetada e necessitar ampliar novamente a sua estrutura produtiva deve-se primeiramente realizar uma avaliação da viabilidade de aumentar a altura útil da edificação da área em que está instalado o armazém, pois os transportadores possuem capacidade de elevação de carga de até 10,5 m. Assim, é possível atender as novas demandas através do aumento do número de níveis de armazenagem com a instalação de montantes com alturas maiores e o acréscimo de transportadores autônomos.

REFERÊNCIAS

- ACURA. **Acura Your Trusted RFID Partner**, 2022. Produtos. Disponível em: <<https://www.acura.com.br/pt/produtos>>. Acesso em: 26 de fev. de 2022.
- AGVS. **AGVS Moving Forward**, 2021. AGV. Disponível em: <<http://www.agvs.com.br/orientacao.html>>. Acesso em: 17 de ago. de 2021.
- ANDRADE, L.; FIGUEIREDO, J.; TLEMÇANI, M. A new RFID-identification strategy applied to the marble extraction industry. **Electronics**, v. 10, p. 1-16, 2021.
- BARBERÁ, H. M.; PEREZ, D. H. Autonomous Navigation of an Automated Guided Vehicle in Industrial Environments. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 26. p. 296-311, 2010.
- BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview, **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245-1252, 2017.
- BERTOLINI. **Bertolini sistemas de armazenagem**, 2021. Sistemas de armazenagem. Disponível em: <<https://www.bertoliniarmazenagem.com.br/home>>. Acesso em: 18 de ago. de 2021.
- BMW Group. **Green Car Congress**, 2018. BMW Group increasing use of digitalization and Industry 4.0 in production logistics. Disponível em: <<https://www.greencarcongress.com/2018/12/20181203-bmw.html>>. Acesso em: 31 de dez. de 2021.
- BRANDÃO, B. **Maplink**, 2020. 3 exemplos de WMS: aumente a produtividade da sua empresa!. Disponível em: <<https://maplink.global/blog/exemplos-de-wms/>>. Acesso em: 18 de ago. de 2021.
- BUKOVA, B.; BRUMERCIKOVA, E.; CERNA, L.; DROZDZIEL, P. The position of Industry 4.0 in the worldwide logistics chains. **LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics**, v. 9, p. 18-23, 2018.
- CBBR. **Código de barras Brasil**, 2021. Tipos de códigos de barras. Disponível em: <<https://codigosdebarrasbrasil.com.br/tipos-de-codigos-de-barras/>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.
- CHEN, W. Intelligent manufacturing production line data monitoring system for industrial internet of things. **Computer Communications**, v. 151, p. 31-41, 2020.
- DENUWARA, N.; MAIJALA, J.; HAKOVIRTA, M. Sustainability Benefits of RFID Technology in the Apparel Industry. **Sustainability**, v. 11, p. 1-14, 2019.
- DOLGUI, A.; PROTH, J.M. RFID technology in supply chain management: State of the art and perspectives. **IFAC Proc.** v. 41, p. 4464-4475, 2008.
- DOYDUK, H. B. B.; KARAGÖZ, B.; KAYA, I. G. Industry 4.0 from logistics firms' perspective. **Ekonomi Maliye İşletme Dergisi**, v. 1, p. 47-53, 2018.
- DRAGANJAC, I.; PETROVIC, T.; MIKLIC, D.; KOVACIC, Z.; ORSULIC, J. Highly-scalable traffic management of autonomous industrial transportation systems. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 63, p. 1-17, 2020.

ENGUSA. **Engineering**, 2021. Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Disponível em: <https://www.engusa.com/pt_br/product/siemens-tecnomatix-plant-simulation>. Acesso em: 28 de dez. de 2021.

FÁVERO, L.; NASCIMENTO, S.; LIZOTE, S. A.; VERDINELLI, M. A. Implantação Warehouse Management System: estudo de caso em um centro distribuidor e atacadista. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 8, p. 54-82, 2016.

FONSECA, L. M. Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. **Proceedings of the International Conference on Business Excellence**, v. 12, p. 386-397, 2018.

FRANKÓ, A.; VIDA, G.; VARGA, P. Reliable identification schemes for asset and production tracking in industry 4.0. **Sensors**, v. 20, p. 1-24, 2020.

GALINDO, L. D. **The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim 2016.

GHADGE, A.; KARA M.; MORADLOU, H.; GOSWAMI, M. The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, p. 669-686, 2020.

GLADYSZ, B.; EJSMONT, K.; KLUCZEK, A.; CORTI, D.; MARCINIAK, S. A method for an integrated sustainability assessment of rfid technology. **Resources**, v. 9, p. 1-24, 2020.

GLISTAU, E.; MACHADO N. I. C. Solutions and trends in logistics 4.0. **Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering**, v. 12, p. 129-132, 2019.

HERRTECH. **HerrTech soluções RFID**, 2015. O que é RFID?. Disponível em: <<https://www.herrtech.com.br/blank>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

I9. **Automação comercial**, 2020. Quais os tipos de código de barras?. Disponível em: <<https://www.i9automacaocomercial.com.br/blog/quais-os-tipos-de-codigo-de-barras/>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

Jungheinrich. **Veículos automatizados**, 2020. Nossos casos de sucesso. Disponível em: <<https://www.jungheinrich.com.br/nossas-solu%C3%A7%C3%B5es-para-voc%C3%AA/nossos-casos-de-sucesso/thyssen-krupp-634196>>. Acesso em: 08 de jan. de 2022.

KHAMLICH, M.; MELCON, A. A.; MRABET, O.; ENNASAR, M. A.; HINOJOSA, J. Flexible UHF RFID tag for blood tubes monitoring. **Sensors**, v.19, p. 1-22, 2019.

KOMAN, G.; KUBINA. M.; BUBELÍNY, O.; GABRYŠOVÁ, M. Benefits of Industry 4.0 for logistics and decision-making of managers. **LOGI - scientific journal on transport and logistics**, v. 10, p. 33-41, 2019.

LE-ANH, T.; KOSTER, M. B. M. A review of design and control of automated guided vehicle systems. **European Journal of Operational Research**, v. 171, p. 1-23, 2006.

LEE, Y. K.; GOH, Y. H.; TEW, Y. Cyber Physical Autonomous Mobile Robot (CPAMR) Framework in the Context of Industry 4.0. **MATEC Web of Conferences**, v. 167, p. 1-7, 2018.

LERMENSYS. **LermenSys softwares de gestão**, 2019. Conceitos da Indústria 4.0. Disponível em: <<https://www.lermensys.com.br/blog/conceitos-da-industria-40>>. Acesso em: 11 de set. de 2021

LIN, C.; YANG, J. Cost-efficient deployment of fog computing systems at logistics centers in industry 4.0. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, p. 4603-4611, 2018.

LIU, K.; BI, Y.; LIU, D. Internet of Things based acquisition system of industrial intelligent bar code for smart city applications. **Computer Communications**, v. 150, p. 325-333, 2020.

LÓPEZ, Y. A.; FRANSSEN, J.; NARCIANDI, G. A.; PAGNOZZI, J.; ARRILLAGA, I. G. P.; ANDRÉS, F. L. H. RFID technology for management and tracking: e-health applications. **Sensors**, v.18, p. 1-17, 2018.

MECALUX. **Mecalux soluções de armazenagem**, 2019. Casos práticos. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/casos-praticos/armazem-sma-magnetics-polonia>>. Acesso em: 08 de jan. de 2022.

MECALUX. **Mecalux soluções de armazenagem**, 2020. Integração entre sistemas ERP e WMS. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/blog/erp-wms-integracao>>. Acesso em: 18 de ago. de 2021.

MECALUX. **Mecalux soluções de armazenagem**, 2021. Soluções de armazenagem. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/>>. Acesso em: 18 de ago. de 2021.

MECALUX. **Mecalux soluções de armazenagem**, 2022. Porta palete. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/cargas-paletizadas/porta-pallets#>>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

MEHAMI, J.; NAWI M.; ZHONG, R. Y. Smart automated guided vehicles for manufacturing in the contexto of Industry 4.0. **Procedia manufacturing**, v. 26, p. 1077-1086, 2018.

MIKAVICA, B.; LJUBISAVLJEVIC, A. K. Fog computing in logistics systems. **Logistics International Conference**, v. 4, p. 273-282, 2019.

NEAL, A. D.; SHARPE, R. G.; LOPIK, K.; TRIBE, J.; GOODALL, P.; LUGO, H.; VELANDIA, D. S.; CONWAY, P.; JACKSON, L. M.; JACKSON, T. W.; WEST, A. A. The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v.32. p.461-475, 2021.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEM, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia**. 6ª ed. Editora Blucher, São Paulo, 2005.

PEKARCIKOVA, M.; TREBUNA, P.; KLIMENT, M.; DIC, M. Solution of bottlenecks in the logistics flow by applying the kanban module in the Tecnomatix Plant Simulation Software. **Sustainability**, v. 13, p. 7989-8010, 2021.

POLI, G. A.; SAVIANI T. N.; JÚNIOR, I. G. Logistics 4.0: a systematic review. **Iberoamerican Journal of Project Management**, v. 9, p. 32-47, 2018.

ROCLA. **Very Narrow Aisle with Telescopic Forks**, 2022. AGV Solutions. Disponível em: <

<https://www.rocla-agv.com/en/products/very-narrow-aisle-telescopic-forks> >. Acesso em: 05 de mar. de 2022.

SCHAEFER. **SSI Schaefer**, 2021. Automated guided vehicles in intralogistics. Disponível em: <<https://www.ssi-schaefer.com/en-th/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles>>. Acesso em: 17 de ago. de 2021.

SCHLOTT, S. Vehicle Systems for Logistics 4.0. **ATZ Worldwide**, v. 119, p. 8-13, 2017.

SENIOR. **Senior Soluções**, 2022. Gestão de Armazenagem - WMS Senior. Disponível em: <<https://documentacao.senior.com.br/gestaodearmazenagemwms/8.11/manuais-wms/contrato-resultado/apresentacao.html>>. Acesso em: 20 de mar. de 2022.

SIEMENS. **Siemens Digital Industries Software**, 2021. Plant Simulation and Throughput Optimization. Disponível em: < <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html>>. Acesso em: 29 de dez. de 2021.

SKILJO, M.; SOLIC, P.; BLAZEVIC, Z.; PERKOVIC, T. Analysis of Passive RFID Applicability in a Retail Store: What Can We Expect?. **Sensors**, v. 20, p. 1-20, 2020.

SOMMERFELD, M. **IBS Sistemas**, 2020. WMS: O que é sistema de gerenciamento de armazém?. Disponível em: <<https://ibssystemas.com.br/wms-sistema-de-gerenciamento-de-armazem/>>. Acesso em: 18 de ago. de 2021.

STRANDHAGEN, J. W.; ALFNES, E.; STRANDHAGEN J. O.; SWAHN N. Importance of Production Environments When Applying Industry 4.0 to Production Logistics – A Multiple Case Study. **International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**, v. 6, p. 241-247, 2016.

SZLAPKA, J. O.; WOJCIECHOWSKI H.; DOMANSKI, R.; PAWLOWSKI, G. Logistics 4.0 Maturity Levels Assessed Based on GDM (Grey Decision Model) and Artificial Intelligence in Logistics 4.0 -Trends and Future Perspective. **Procedia Manufacturing**, v. 39, p. 1734-1742, 2019.

TANG, C. S.; VEELNTURF. L. P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 129, p. 1-11, 2019.

TELES, J. **Engeteles**, 2017. Indústria 4.0 - Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução Industrial. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 11 de set. de 2021.

VIAONDA. **Viaonda RFID**, 2022. Produtos. Disponível em: < <https://docs.viaondarfid.com.br/docs/mid121>>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.

VIS, I. F. A. Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. **European Journal of Operational Research**, v. 170, p. 677-709, 2006.

VIVALDINI, K.; ROCHA, L. F.; MARTARELLI, N. J.; BECKER, M.; MOREIRA, A. P. Integrated tasks assignment and routing for the estimation of the optimal number of AGVS. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 82, p. 1-18, 2015.

WALKER, J. **WAYPOINT Robotics**, 2021. AMR vs AGV: A clear choice for flexible material handling. Disponível em: <<https://waypointrobotics.com/blog/amr-vs-agv/>>. Acesso em: 17 de ago. de 2021.

WANG, L.; HE, J.; XU S. The Application of Industry 4.0 in Customized Furniture Manufacturing Industry. **MATEC Web of Conferences**, v. 100, p. 1-4, 2017.

YAN, X.; GUO, H.; YU, M.; XU, Y.; CHENG, L.; JIANG, P. Light detection and ranging/inertial measurement unit-integrated navigation positioning for indoor mobile robots. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 17, p. 1-11, 2020.

YAVAS, V.; OZKAN-OZEN, Y. D. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. **Transportation Research Part E**, v. 135, p. 1-18, 2020.



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br