

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

LUCAS DE FREITAS GOMES

**TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA
O DESENVOLVIMENTO DE ARQUITETURA DE
ARMAZÉNS INTELIGENTES**

Salvador

2022

LUCAS DE FREITAS GOMES

**TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA
O DESENVOLVIMENTO DE ARQUITETURA DE
ARMAZÉNS INTELIGENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Herman Augusto Lepikson.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos César Ribeiro Santos.

Salvador

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

G633t Gomes, Lucas de Freitas

Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 para o desenvolvimento de arquitetura de armazéns inteligentes / Lucas de Freitas Gomes. – Salvador, 2022.

164 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Herman Augusto Lepikson.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos César Ribeiro Santos.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

Inclui referências.

1. Armazéns inteligentes. 2. Logística 4.0. 3. Tecnologias habilitadoras. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Lepikson, Herman Augusto. III. Santos, Carlos César Ribeiro. IV. Título.

CDD 658.785

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC**Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial**

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada “**Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 no Desenvolvimento de Arquitetura de Armazéns Inteligentes**” apresentada no dia 26 de agosto de 2022, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador:

Assinado eletronicamente por:
Herman Augusto Lepikson
CPF: ***.545.375-**
Data: 29/08/2022 15:19:56 -03:00



Prof. Dr. Herman Augusto Lepikson
SENAI CIMATEC

Coorientador:

Assinado eletronicamente por:
Carlos César Ribeiro Santos
CPF: ***.141.945-**
Data: 29/08/2022 16:45:52 -03:00



Prof. Dr. Carlos César Ribeiro Santos
FIEB

Membro Interno:

Assinado digitalmente por:
Aloisio Santos Nascimento Filho
CPF: ***.459.665-**
Data: 29/08/2022 14:42:36 -03:00



Prof. Dr. Aloisio Santos Nascimento Filho
SENAI CIMATEC

Membro Externo:

Assinado eletronicamente por:
Vaner José do Prado
CPF: ***.359.100-**
Data: 30/08/2022 20:17:04 -03:00



Prof. Dr. Vaner José do Prado
UNIFACS

Membro Externo:

Assinado eletronicamente por:
Vivian Manuela Conceição
CPF: ***.641.305-**
Data: 29/08/2022 15:26:23 -03:00



Profa. Dra. Vivian Manuela Conceição
FIEB

Dedico este trabalho a Deus, por estar sempre ao meu lado nos desafios e adversidades, e a minha família pelo esforço em proporcionar-me o conhecimento por meio da educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço por me conceder o dom da vida, pelas bênçãos e oportunidades, guiando-me nesta jornada desafiadora e de muito aprendizado. Agradeço pela minha saúde e proteção que recebo diariamente.

Para realização deste trabalho algumas pessoas me incentivaram e ajudaram a alcançar mais esse sonho. Meus pais, Alberto e Cleonice pelos valores e princípios que carrego por toda minha vida. Lembrarei sempre do cuidado, amor e atenção durante meu crescimento pessoal e profissional, dando-me condições de estudar e servindo de inspiração para os meus compromissos. Agradeço profundamente a minha querida irmã, Natália, pela amizade, companheirismo e amor incondicional.

A minha incrível esposa, Maíra, pela parceria e carinho ao longo desse trabalho, incentivando-me em todos os momentos com muita sabedoria e leveza. Celebrando com alegria cada pequena conquista e me fazendo lembrar que o mais importante é aproveitar a jornada.

Ao professor e orientador Doutor Herman Lepikson, pela confiança depositada, pela atenção, paciência e disponibilidade. Com sua metodologia de orientação bem detalhada e estruturada, contribuiu com excelência para o alcance dos objetivos propostos, norteando esse trabalho com muita segurança e comprometimento. Foi uma enorme satisfação tê-lo como mentor e referência de um grande profissional.

Sou grato também ao coorientador Doutor Carlos César, sempre prestativo e que muito agregou para o enriquecimento deste trabalho. Por todos as sugestões, críticas e questionamentos, além da parceria e acompanhamento durante grande parte do meu ciclo acadêmico de pesquisa.

Da mesma forma, registro também meu reconhecimento a professora Doutora Vivian Manuela e ao professor Doutor Vaner Prado que contribuíram imensamente com sugestões para evolução da pesquisa. Reitero minha profunda gratidão pela disponibilidade, sobretudo, pela prontidão ao aceitar fazer parte da banca examinadora.

Aos professores do Mestrado que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Aos meus colegas de turma, por dividirem comigo tantos momentos de descobertas, troca de experiências e por todo o companheirismo ao longo deste caminho.

A todos os amigos e colegas do SENAI CIMATEC, meus sinceros agradecimentos pelo desenvolvimento profissional, pela oportunidade, colaboração e confiança no meu trabalho. Destaco aqui, todo o time do projeto de inovação que atuou brilhantemente para superarmos os desafios, possibilitando o compartilhamento dos resultados aqui neste documento.

Agradeço também a Leonardo Sanches e Ricardo Russel pelo reconhecimento, estímulo e dedicação em proporcionar meu acesso ao Mestrado e por acreditar em minha evolução.

Não poderia deixar de agradecer a minha sogra, Edna, pelos conselhos, acolhimento e incentivos, especialmente durante o curso. Por fim, a todos os amigos e familiares que convivi ao longo desses anos e tiveram influência na minha formação.

RESUMO

Armazém é um ambiente físico onde são alocadas matérias-primas, produtos acabados ou semiacabados que serão destinados para o próximo ciclo da cadeia de produção ou distribuição. O sistema logístico tem o armazém como um dos seus elos mais importantes. Ele é essencial como um sistema de armazenagem de matérias-primas na área de suprimentos, nas operações de produção, para estoques em processo e, na armazenagem de produtos acabados dos sistemas de distribuição. As tecnologias digitais emergentes introduzem importantes oportunidades para melhorar a eficiência das operações dos armazéns pelo melhor gerenciamento de todo o fluxo de materiais e informações. Este trabalho apresentou como as tecnologias da indústria 4.0 podem auxiliar os processos logísticos dos armazéns inteligentes. Constatou-se que a aplicação desses recursos permite a redução de erros operacionais, evita perdas, possibilita inventários enxutos, rastreabilidade, transparência, flexibilidade, informações em tempo real, bem como um melhor aproveitamento do espaço, aumentando assim, a produtividade das operações. As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, desdobradas para suas aplicações em logística, colaboram para o aperfeiçoamento dos processos de armazenagem ao possibilitar entregas mais rápidas, antecipar pedidos por meio de previsões mais assertivas, mapear comportamentos das unidades consumidoras para redução de transportes e manipulações, assim como promover o acondicionamento seguro e eficaz de acordo com as variadas especificações e dimensões dos itens. Os armazéns inteligentes fazem uso das tecnologias habilitadoras para análise avançada de dados com apoio da estatística e da Inteligência Artificial (IA) para realizar essas novas demandas. Eles são capazes de se adaptar a negócios diferentes e são inteligentes o suficiente para executar as operações requeridas com mínima intervenção humana. O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura de forma integrada, generalizável e escalável para armazéns inteligentes com base em tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 que possam proporcionar o aumento da produtividade, confiabilidade e segurança nos processos de recebimento, armazenagem e expedição. A abordagem proposta buscou demonstrar a viabilidade dessa arquitetura por meio de tecnologias derivadas da Indústria 4.0, aplicadas em um *testbed*, desenvolvido com o intuito de validar, em ambiente relevante, a incorporação de recursos tecnológicos integrados para melhorar o desempenho das operações logísticas de um armazém projetado para manipular itens de alto valor. A metodologia empregada para alcançar os objetivos da pesquisa científica, classificou-se como aplicada, quanto à sua natureza, de abordagem qualitativa e quantitativa, com objetivos exploratórios e explicativos, além de caracterizar-se bibliográfica, experimental e, por fim, comprovando seus conceitos por meio de

um estudo de caso. Os resultados do estudo apontaram que a utilização dessas soluções promove o aumento da produtividade, acelera a tomada de decisões com informações em tempo real, proporciona flexibilidade, exclui a necessidade de papel na operação, permite a rastreabilidade das informações durante a movimentação dos itens, assim como favorece a interoperabilidade entre os módulos da arquitetura, o que significa operar seu sistema com componentes e ferramentas diferentes, de fornecedores diferentes, podendo ou não atuar em conjunto.

Palavras-chave: armazéns inteligentes; logística 4.0; tecnologias habilitadoras.

ABSTRACT

SMART WAREHOUSE ARCHITECTURE FOR LOGISTICS 4.0

Warehouse is a physical environment where raw materials, finished or semi-finished products are allocated that will be destined for the next cycle of the production or distribution chain. The logistics system has the warehouse as one of its most important links. It is essential as a raw material storage system in the procurement area, in production operations, for in-process inventories, and in the storage of finished goods in distribution systems. Emerging digital technologies introduce important opportunities to improve the efficiency of warehouse operations by better managing the entire flow of materials and information. This work presented how Industry 4.0 technologies can help the logistics processes of smart warehouses. It was found that the application of these resources allows the reduction of operational errors, avoids losses, allows lean inventories, traceability, transparency, flexibility, real-time information, as well as a better use of space, thus increasing the productivity of operations. The enabling technologies of Industry 4.0, deployed for its applications in logistics, collaborate to improve storage processes by enabling faster deliveries, anticipating orders through more assertive forecasts, mapping behaviors of consumer units to reduce transport and handling, as well as how to promote safe and effective packaging according to the varied specifications and dimensions of the items. Smart warehouses make use of enabling technologies for advanced data analysis supported by statistics and Artificial Intelligence (AI) to meet these new demands. They are able to adapt to different businesses and are smart enough to perform required operations with minimal human intervention. The objective of this work is to propose a generalizable and scalable architecture for smart warehouses based on enabling technologies from industry 4.0 that can provide increased productivity, reliability and security in the processes of receiving, storing and shipping. The proposed approach sought to demonstrate the feasibility of this architecture through technologies derived from Industry 4.0, applied in a testbed, developed with the aim of validating, in a relevant environment, the incorporation of integrated technological resources to improve the performance of logistics operations in a warehouse designed to handle high value items. The methodology used to achieve the objectives of scientific research was classified as applied, in terms of its nature, with a qualitative and quantitative approach, with exploratory and explanatory objectives, in addition to being bibliographical, experimental and, finally, proving its concepts through a case study. The results of the study showed that the use of these solutions promotes increased productivity,

accelerates decision-making with real-time information, provides flexibility, eliminates the need for paper in the operation, allows the traceability of information during the movement of items, as well as as it favors interoperability between the modules of the architecture, which means operating your system with different components and tools, from different suppliers, which may or may not work together.

Keywords: *smart warehouses; logistics 4.0; enabling technologies;*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Percentual das publicações selecionadas	31
Figura 2. Avanço no número de publicações com o descritor “ <i>smart warehouse</i> ” entre os anos 2013 a 2021	31
Figura 3. Pesquisadores relacionados à “ <i>smart warehouse</i> ” utilizando a ferramenta <i>VOSviewer</i>	32
Figura 4. Relação de citações entre os pesquisadores	33
Figura 5. Ambientes da indústria 4.0.....	35
Figura 6. Matriz de classificação de armazéns	37
Figura 7. Linha do tempo com avanço das aplicações de automação em armazéns	39
Figura 8. Componentes do sistema RFID.....	44
Figura 9. Níveis de processamento dos sistemas de visão computacional.....	47
Figura 10. Exemplo de estrutura de Sistema de Visão Computacional.....	48
Figura 11. Exemplo de AGV aplicado em armazéns	50
Figura 12. Utilização de óculos VR para imersão em ambientes simulados de armazéns.....	51
Figura 13. Tecnologia de separação via realidade aumentada	52
Figura 14. Técnica usada para a impressão 3D	53
Figura 15. Exemplo de robô colaborativo para unitização e embalagem de materiais	56
Figura 16. Resumo sintético da classificação da pesquisa	72
Figura 17. Etapas para construção da arquitetura lógica	74
Figura 18. Combinação de tecnologias 4.0 para armazéns inteligentes	76
Figura 19. Arquitetura lógica proposta para armazéns inteligentes	78
Figura 20. Modelagem computacional do espaço reservado para construção do <i>testbed</i>	80
Figura 21. Processos do armazém da empresa parceira	81
Figura 22. Cenário inicial do armazém da empresa estudada	83
Figura 23. Construção de modelos computacionais 3D da rota tecnológica logística	85
Figura 24. Fases do projeto de modelagem e simulação computacional.....	86
Figura 25. Lógica computacional de operação do armazém construído no FlexSim.....	87
Figura 26. Visão frontal da simulação computacional do <i>testbed</i>	88
Figura 27. Visão traseira da simulação computacional da banca inteligente do <i>testbed</i>	88
Figura 28. Visão lateral da modelagem computacional do <i>testbed</i>	89
Figura 29. Interação do operador virtual no <i>testbed</i>	90

Figura 30. Fluxo do processo de recebimento de produtos no <i>testbed</i>	92
Figura 31. Fluxo do processo de expedição de produtos no <i>testbed</i>	92
Figura 32. Comparativo das operações de recebimento e expedição dos cenários atual e simulado	93
Figura 33. Projeto na fase de testes em ambiente controlado (laboratorial).....	95
Figura 34. Testes em ambiente relevante (empresa)	96
Figura 35. Comparativo entre os cenários atual, simulado e <i>testbed</i>	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Referenciais teóricos e metodológicos	28
Quadro 2. Descritores do <i>review</i>	29
Quadro 3. Descritores Revisão de Literatura – Armazéns Inteligentes.....	30
Quadro 4. Publicações por autor e país	32
Quadro 5. Comparativo entre IoT e IIoT.....	42
Quadro 6. Comparativo entre rede cabeada e rede 5G.....	45
Quadro 7. Tecnologias de armazenagem e separação de produtos com as respectivas funções e benefícios.....	59
Quadro 8. Exemplo da matriz morfológica	75
Quadro 9. Etapas do processo logístico e dificuldades encontradas	82
Quadro 10. Relação das tecnologias indicadas para compor o <i>testbed</i>	89
Quadro 11. Documentos elaborados para o detalhamento técnico do projeto	94
Quadro 12. Vantagens e resultados com a aplicação da arquitetura proposta.....	99
Quadro 13. Entraves e impactos com investimentos em tecnologias habilitadoras	100

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGV – *Automated Guided Vehicle*
AMR – *Autonomous Mobile Robots*
AR – *Augmented Reality*
BDA – *Big Data Analytics*
CAD – *Computer-Aided Design*
CAGR – *Compound Annual Growth Rate*
CLP – *Controlador Lógico Programável*
CSF – *Sistemas Ciberfísicos*
DT – *Digital Twin*
ERP – *Enterprise Resource Planning*
IA – *Inteligência Artificial*
IHM – *Interface Homem-Máquina*
IoT – *Internet of Things*
IIoT – *Industrial Internet of Things*
MEC – *Ministério da Educação*
MFV – *Mapeamento do Fluxo de Valor*
MR – *Mixed Reality*
PLM – *Product Lifecycle Management*
RFID – *Radio Frequency Identification*
RPA – *Robotic Process Automation*
SKU – *Stock Keeping Unit*
SOA – *Service-Oriented Architecture*
TI – *Tecnologia da Informação*
UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*
UGV – *Unmanned Ground Vehicles*
VBR – *Visão Baseada em Recursos*
VLM – *Vertical Lift Module*
VR – *Virtual Reality*
XR – *Extended Reality*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	OBJETIVOS.....	25
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	25
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	26
1.2	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	26
2	REVISÃO DA LITERATURA	27
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
3.1	LOGÍSTICA 4.0	34
3.2	ARMAZÉNS INTELIGENTES	36
3.3	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	41
3.3.1	<i>Internet das Coisas (IoT) e Internet Industrial das Coisas (IIoT)</i>	41
3.3.2	<i>RFID (Radio Frequency Identification)</i>	43
3.3.3	<i>Redes de Comunicação</i>	44
3.3.4	<i>Sistema de Visão Computacional</i>	46
3.3.5	<i>Inteligência Artificial (IA)</i>	48
3.3.6	<i>Veículos Guiados Automatizados (AGV)</i>	49
3.3.7	<i>Realidade Estendida (XR)</i>	50
3.3.8	<i>Manufatura Híbrida</i>	52
3.3.9	<i>Robótica Colaborativa</i>	54
3.3.10	<i>Digital Twin (Gêmeos Digitais)</i>	56
3.3.11	<i>Tecnologias de armazenamento e separação de materiais</i>	58
3.3.12	<i>Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) para integração de sistemas</i>	60
3.3.13	<i>Computação na nuvem e na borda</i>	61
3.3.14	<i>Cibersegurança</i>	62
3.3.15	<i>RPA (Robotic Process Automation)</i>	64
3.3.16	<i>Big Data Analytics</i>	65
3.4	ARQUITETURAS DE ARMAZÉNS INTELIGENTES	67
4	ABORDAGEM PROPOSTA.....	70
4.1	METODOLOGIA	70
4.2	ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA	73
4.3	ARQUITETURA	77
5	COMPROVAÇÃO DO CONCEITO	80
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	98

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
7.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	105
	REFERÊNCIAS	106
	APÊNDICES	117

1 INTRODUÇÃO

A logística vem adquirindo um papel cada vez mais estratégico, dada a importância e relevância dos seus macroprocessos, de suprimentos à produção e à distribuição, para o alcance dos objetivos organizacionais. Entende-se como logística, todo gerenciamento estratégico do fluxo de materiais, serviços, informações e pessoas, desde o pedido do cliente até a entrega do produto ao consumidor final, bem como sua retroalimentação para o sistema produtivo. Um dos maiores desafios na gestão logística é a visão integrada e sistêmica de todos os processos da empresa. Executada de forma planejada, ela aumenta a competitividade, reduz custos por meio da eliminação de desperdícios e, portanto, contribui para aumentar a lucratividade das organizações, atendendo as exigências dos clientes no prazo, com qualidade e ao menor custo possível.

Diante do cenário atual de intensas transformações, adaptações e reinvenções no modo de interação com os clientes, parceiros e fornecedores, a logística nas empresas precisou ser repensada. Para isso, tornou-se indispensável estabelecer diferentes canais de venda e entrega, investir massivamente em tecnologia e aplicar métodos inovadores de distribuição e armazenamento, dada a complexidade da cadeia de suprimentos.

O desenvolvimento de um sistema de distribuição eficaz que incorpore multicanais de comunicação, incide inevitavelmente na aplicação de tecnologias para integração dos elos logísticos, de modo a permitir que os clientes entrem em contato com o mercado pelo canal mais conveniente e receba seus pedidos no menor tempo possível. Assim, as empresas tendem a migrar parte dos seus estoques para armazéns ou centros de distribuição que possuam uma logística interna bem estruturada, rápida e segura.

Este projeto focará no estudo dos armazéns como um ambiente físico, instituído como uma das atividades de apoio da logística. Armazém é um ambiente físico onde são alocadas matérias-primas, produtos acabados ou semiacabados que serão destinados para o próximo ciclo da cadeia de produção ou distribuição. Opera como nivelador do fluxo de mercadorias entre a disponibilidade e a necessidade dos clientes internos ou externos e consumidores finais.

Nestes locais, ocorrem operações de movimentação e armazenamento de mercadorias, desde o recebimento até a expedição. As operações de armazenagem são atividades complexas no sistema logístico, demandam métodos e ferramentas que proporcionem celeridade, flexibilidade, confiabilidade e eficácia para o atendimento das exigências dos processos a que servem.

Por ser um elo indispensável para a maioria das empresas que manipulam produtos, o armazém demanda dos gestores um controle refinado dos custos envolvidos nas operações de intralogística, também conhecida como logística interna, responsável por gerenciar todo o fluxo de armazenagem de materiais, produtos acabados e matérias-primas que uma empresa possui em seu estoque e nos centros de distribuição. Uma vez que são ambientes que requerem espaços meticulosamente arquitetados, se instalado em grandes metrópoles, determinados armazéns precisam acomodar-se em espaços cada vez menores, por necessitarem ser estrategicamente bem localizados, com intuito de facilitar a interação com parceiros, clientes ou consumidores finais.

Logo, entender quais são os tipos de custos envolvidos, a estrutura mais adequada para melhorar o desempenho das operações, assim como buscar investir nas melhores tecnologias disponíveis para melhor gerir os armazéns, são estratégias seguidas por organizações que visam reduzir erros operacionais, evitar perdas, executar inventários enxutos, manter a rastreabilidade, transparência, flexibilidade, informações em tempo real, bem como um melhor aproveitamento do ambiente sem comprometer a segurança e integridade dos itens e das pessoas, aumentando assim, a produtividade desses espaços.

Frente a esse novo cenário, fatores externos são reconhecidamente determinantes para as definições de armazéns do futuro. Dentre as mais relevantes, encontram-se o aumento da população mundial, expansão da classe média, crescimento do *e-commerce* e da economia compartilhada, digitalização e conectividade dos processos. Esses fatores podem influenciar diretamente nas estruturas e regras de armazenagem, visto que esse crescimento demanda um alto volume de itens manipulados, com uma grande diversificação de produtos, exigindo assim, sistemas adaptáveis com entregas mais ágeis e recursos compartilhados para reduzir os custos logísticos.

As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, desdobradas para suas aplicações na logística, colaboram para o aperfeiçoamento das operações de armazenagem com a finalidade de possibilitar entregas corretas e no prazo acordado, antecipar o pedido do cliente por meio de previsões melhor ajustadas de demanda, mapear dados de histórico de comportamento do consumidor para aproximação das mercadorias, além de assegurar o acondicionamento seguro das variadas especificações e dimensões de produtos.

Para esse trabalho o termo tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 representa o grupo das principais tecnologias envolvidas no processo de digitalização das empresas.

Nesse contexto, é fundamental que as empresas conheçam as etapas necessárias envolvidas na introdução de soluções de armazenamento inteligente, equilibrando fatores de risco que são exclusivos do seu setor. Deste modo, antes de decidir que o armazenamento inteligente é a melhor forma para aumentar o desempenho, é necessário uma avaliação e reflexão cuidadosa.

Em face a esse contexto da indústria 4.0, que propõe novas formas de gestão e de aplicações técnicas na logística, em especial nos armazéns, objeto deste estudo, trazem à tona a seguinte questão norteadora: ***Como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem auxiliar de forma integrada os processos logísticos dos armazéns inteligentes?***

A relevância desta pesquisa se dá pela contribuição acadêmica e científica na comprovação da metodologia aplicada para implantação de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 em armazéns. Tal contribuição é assegurada pela utilidade do trabalho aos demais, com demonstrações de funções críticas do protótipo em nível de *testbed*¹ em um armazém real. Como se verá, existem poucos estudos sobre como esses ambientes são arquitetados e a metodologia no processo de transição para passar de um armazém tradicional para um armazém inteligente.

O termo “arquitetura” no contexto desse trabalho representa a elaboração de um empreendimento futuro; plano, projeto, voltada para a conjuntura de modernização de armazéns, portanto, configura-se como uma concepção de um combinado de princípios, requisitos e orquestrações de tecnologias aplicadas em movimentação e acondicionamento de produtos, de modo a organizar recursos, pessoas e espaços na criação de ambientes inteligentes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma arquitetura integrada, generalizável e escalável para armazéns inteligentes com base em tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, que possam proporcionar o aumento da produtividade, confiabilidade e segurança nos processos de recebimento, armazenagem e expedição.

¹ *Testbeds* são experimentos controlados em espaços reais, executados para comprovar a viabilidade técnica e econômica de soluções aplicadas à indústria 4.0.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a. Analisar os entraves e oportunidades atuais para implantação de conceitos da indústria 4.0 nas operações de armazéns;
- b. Realizar a identificação e qualificação os fatores determinantes na tomada de decisão, para aplicação de tecnologias 4.0 na logística de armazenagem;
- c. Analisar as alternativas tecnológicas para o desenvolvimento da arquitetura para armazéns inteligentes;
- d. Definir a configuração de arquitetura mais adequada ao atendimento do objetivo proposto;
- e. Validar o conceito desenvolvido em um *testbed* como prova de conceito.

1.2 **Organização do Documento**

O trabalho está constituído por 7 seções, as quais guiam a organização do documento. A seção 2 apresenta a revisão sistemática da literatura com suas etapas para categorizar e filtrar os resultados nos buscadores acadêmicos, extraindo as melhores referências, no intuito de eleger conteúdos relevantes para o embasamento da pesquisa. A seção 3 apresenta o referencial teórico com os principais fundamentos da logística 4.0 e suas tecnologias habilitadoras, definições e arquitetura de armazéns inteligentes. Na seção 4 a abordagem proposta e a arquitetura lógica resultante. Em seguida, na seção 5, apresenta-se a comprovação do conceito por meio do estudo de caso. Na seção 6, os resultados e discussões da pesquisa. Por fim, na seção 7, as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Revisar a literatura é atividade essencial no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e científicos. A realização de uma revisão de literatura evita a duplicação de pesquisas ou, quando for de interesse, o reaproveitamento e a aplicação de pesquisas em diferentes escalas e contextos. Permite ainda: observar possíveis falhas nos estudos realizados; conhecer os recursos necessários para a construção de um estudo com características específicas; desenvolver estudos que cubram brechas na literatura trazendo real contribuição para um campo científico; propor temas, problemas, hipóteses e metodologias inovadoras de pesquisa; otimizar recursos disponíveis em prol da sociedade, do campo científico, das instituições e dos governos que subsidiam a ciência (GALVÃO et al., 2019).

Utilizou-se como referenciais teóricos e metodológicos para construção dessa pesquisa os documentos listados no Quadro 1.

Assim, a fim de cooperar para que as revisões de literatura aufram em qualidade, serão discutidas, neste tópico, algumas etapas que compõem seu desenvolvimento, como a delimitação da questão a ser tratada na revisão; a seleção das bases de dados bibliográficos para consulta e coleta de material; a elaboração de estratégias para busca avançada; a seleção de textos e sistematização de informações encontradas.

De acordo com Insfran e Fernandez (2008), a revisão sistemática envolve três etapas a serem desenvolvidas: A primeira etapa é o planejamento do estudo da revisão da literatura em questão, em que a necessidade da revisão é identificada e os objetivos da pesquisa são determinados. A segunda fase é a condução da revisão da literatura. Para isso, seleciona-se uma amostra e determina-se um grau de qualidade para ela. Posteriormente, é delineada a forma de obtenção dessa amostra e sua sistematização. Por fim, na última etapa, denominada de relato da fase de revisão, os mecanismos de disseminação são especificados e o relatório de revisão é apresentado.

Quadro 1. Referenciais teóricos e metodológicos

Documentos	Autores	Ano	Objetivo
<i>Six tips for your (systematic) literature review in business and management research</i>	Christian Fisch e Joern Block	2018	Entender quais são as sugestões cruciais que os autores listaram para sempre revisar a literatura
<i>A Systematic Review of Usability Evaluation in Web Development</i>	Emilio Insfran e Adrian Fernandez	2008	Aprender a investigar por meio de métodos de avaliação empregado por pesquisadores para avaliar artefatos e como eles foram empregados
Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação	Maria Cristiane Galvão e Ivan Luiz Ricarte	2019	Apurar as técnicas para delimitação da questão de pesquisa, a seleção das bases de dados, a elaboração da estratégia de busca, a seleção dos documentos e a sistematização dos resultados
<i>Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering</i>	Barbara Kitchenham e Stuart Charters	2007	Compreender as diretrizes abrangentes para revisões de literatura apropriadas para pesquisadores de engenharia de software

Fonte: Autor, 2022

As principais fontes utilizadas para a construção deste *review* sobre Armazéns Inteligentes foram cinco bibliotecas digitais:

- a. Google Acadêmico;
- b. Scopus (da Elsevier);
- c. Portal Periódicos da Capes/MEC (Ministério da Educação);
- d. ScienceDirect;

Os trabalhos de Barilan (2008), Franceschet (2010) e Kulkarni (2009) apontam indicadores sobre a relevância das bibliotecas aqui utilizadas para a comunidade acadêmica internacional a saber: cobertura no número de publicações, política de inclusão de periódicos e indexação de documentos que não apenas periódicos como monografias, teses, dissertações, relatórios, resenhas, entre outros. Assim, com base na relevância desses indicadores na obtenção de um considerável número de publicações e alcance, decidiu-se pela utilização das bibliotecas digitais acima citadas.

Para a obtenção de uma base de dados de publicações considerável a uma *review*, seria necessário a utilização de descritores. Assim, determinou-se os descritores de pesquisa elencados abaixo no Quadro 2. Descritores do *review*, objetivando a obtenção de uma maior quantidade de referenciais sobre o tema:

Quadro 2. Descritores do *review*

DESCRITORES DO <i>REVIEW</i>	
FORMA DESCRITIVA 01	"Smart Warehouse"
FORMA DESCRITIVA 02	"Warehouse Smart"
FORMA DESCRITIVA 03	"Intelligent Warehouse"
FORMA DESCRITIVA 04	"Warehouse 4.0"

Fonte: Autor, 2021

Cunha (2001) afirma que, uma vez que se saiba qual temática abordar, é preciso definir qual fonte de informação será empregada. Para aplicações acadêmicas e científicas, sugere-se consulta às bases de dados bibliográficos, por conterem informações relevantes e atuais.

Os critérios de inclusão utilizados para decidir se os documentos deveriam ser incluídos na revisão da literatura foram definidos: (a) estudos que abordavam a aplicação de tecnologias habilitadoras na logística de armazéns em diferentes regiões do mundo; (b) estudos que apresentavam um método de transformar armazéns tradicionais em armazéns inteligentes, independente do produto manipulado; (c) artigos publicados entre os anos de 2018 a 2021, pois levantamentos iniciais identificaram que no período anterior a 2018, as tecnologias habilitadoras, como parte integrante da linha de pesquisa do estudo, sofreram atualizações de aplicações e conceitos, assim como o número de publicações nesse período foi mais representativo.

Os critérios de exclusão foram: (a) estudos que não exibiam qualquer tipo de abordagem voltada à aplicação de tecnologia da logística 4.0 em armazéns; (b) publicações repetidas nas

bibliotecas digitais; (c) estudos que tinham uma abordagem estritamente voltada a automatização de processos logísticos.

Para as pesquisas nas bases citadas anteriormente, não foi limitado idioma na tentativa de obter quantidade relevante de referencial teórico, contudo, foi detectado que as publicações em inglês eram as que mais continham informações relevantes ao estudo.

A investigação para construção dessa *review* foi conduzida no período entre julho de 2020 a 01 de dezembro de 2021. As pesquisas realizadas nas bibliotecas digitais utilizaram descritores, aqui já mencionados, para identificação da produção acadêmica sobre o tema investigado, resultando no Quadro 3. Descritores Revisão de Literatura – Armazéns Inteligentes a seguir:

Quadro 3. Descritores Revisão de Literatura – Armazéns Inteligentes

DESCRITORES REVISÃO DE LITERATURA			
Plataforma de pesquisa	Forma descritiva	Publicações	Período
FORMA DESCRITIVA 01			
Google Acadêmico	"Smart Warehouse"	1.030	2018 a 2021
Scopus	"Smart Warehouse"	92	2018 a 2021
Portal Periódicos da Capes	"Smart Warehouse"	124	2018 a 2021
ScienceDirect	"Smart Warehouse"	79	2018 a 2021
FORMA DESCRITIVA 02			
Google Acadêmico	"Warehouse Smart"	109	2018 a 2021
Scopus	"Warehouse Smart"	4	2018 a 2021
Portal Periódicos da Capes	"Warehouse Smart"	39	2018 a 2021
ScienceDirect	"Warehouse Smart"	16	2018 a 2021
FORMA DESCRITIVA 03			
Google Acadêmico	"Intelligent Warehouse"	643	2018 a 2021
Scopus	"Intelligent Warehouse"	64	2018 a 2021
Portal Periódicos da Capes	"Intelligent Warehouse"	78	2018 a 2021
ScienceDirect	"Intelligent Warehouse"	32	2018 a 2021
FORMA DESCRITIVA 04			
Google Acadêmico	"Warehouse 4.0"	57	2018 a 2021
Scopus	"Warehouse 4.0"	3	2018 a 2021
Portal Periódicos da Capes	"Warehouse 4.0"	7	2018 a 2021
ScienceDirect	"Warehouse 4.0"	8	2018 a 2021

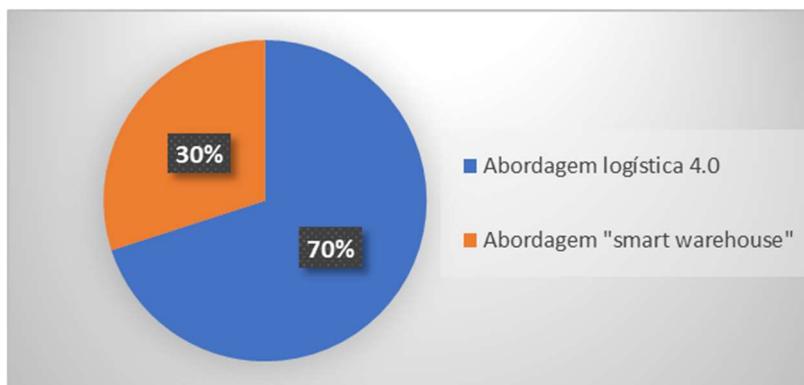
Fonte: Autor, 2021

Após a utilização dos critérios de inclusão/exclusão, 90 publicações foram finalmente selecionadas entre periódicos, teses, dissertações e livros.

No processo investigativo, buscou-se examinar se as publicações possuem somente abordagem teórica sobre o tema armazéns inteligentes ou sobre estudos de caso com aplicações

de tecnologias habilitadoras na logística. A partir da amostra aqui delineada metodologicamente, chegou-se à conclusão de que 63 publicações têm foco em implantação de tecnologias em operações logísticas e 27 tem foco somente em concepção ou implementação de armazéns inteligentes, representando respectivamente os seguintes percentuais: 70% e 30%, vide Figura 1.

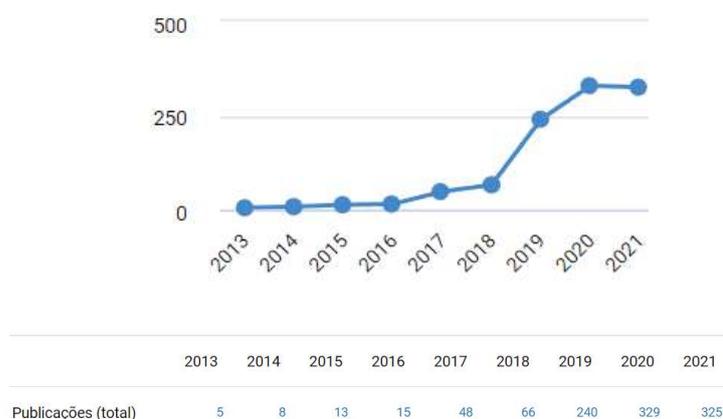
Figura 1. Percentual das publicações selecionadas



Fonte: Autor, 2021

O que reforça mais ainda a oportunidade do tema abordado é a representatividade de mais de 91% dos estudos estarem compreendidos de 2018 em diante, permanecendo estável em 2021. Esta análise está demonstrada na plataforma de pesquisa *Dimensions*, utilizando o descritor “*smart warehouse*”, vide Figura 2.

Figura 2. Avanço no número de publicações com o descritor “*smart warehouse*” entre os anos 2013 a 2021



Fonte: Autor, 2021

Nesta revisão e categorização de artigos, em verificação a autoria dos documentos,

pode-se verificar que na Índia concentra-se o maior número de publicações por autor, vide

Quadro 4. Publicações por autor e país

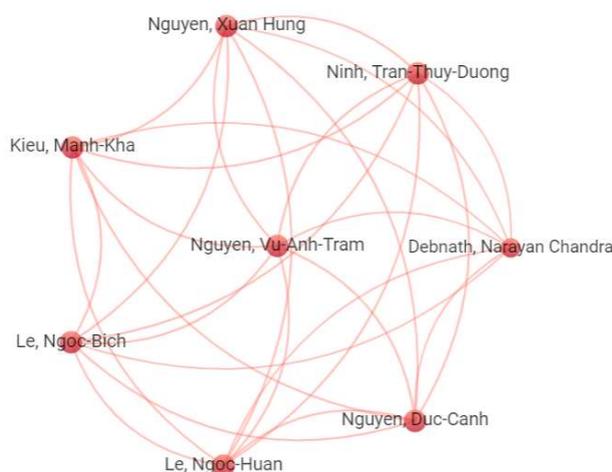
Quadro 4. Publicações por autor e país

Investigadores	Publicações	Instituição	País
Swagat Kumar	16	Tata Consultancy Services	Índia
Ranjith Ravindranathan Nair	16	Instituto Indiano de Tecnologia Kanpur	Índia
Laxmidhar Behera	16	Instituto Indiano de Tecnologia Kanpur	Índia
Samrat Dutta	16	Tata Consultancy Services	Índia
Prem Kumar Patchaikani	16	Departamento de Ciência e Tecnologia	Índia
Turan Paksoy	10	Universidade Necmettin Erbakan	Turquia
Sead Delalic	10	Universidade de Sarajevo	Bósnia e Herzegovina
Alice Buffi	10	Universidade de Pisa	Itália
Emir Žuni?	10	Universidade de Sarajevo	Bósnia e Herzegovina
Andrea Motroni	9	Universidade de Pisa	Itália
Paulo Nepa	9	Universidade de Pisa	Itália

Fonte: Autor, 2021

Na revisão de coautoria, utilizou-se da rede *VOSviewer*, ferramenta de software para construção e visualização de redes bibliométricas, no qual o parentesco dos pesquisadores é determinado com base no número de publicações em coautoria. Numa amostra de 100 pesquisadores, o filtro permitiu que fosse selecionado apenas o maior conjunto de itens conectados e ignorou-se publicações com mais de 25 autores, dessa forma, tornou-se possível visualizar uma rede de 8 pesquisadores em destaque, conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3. Pesquisadores relacionados à “*smart warehouse*” utilizando a ferramenta *VOSviewer*

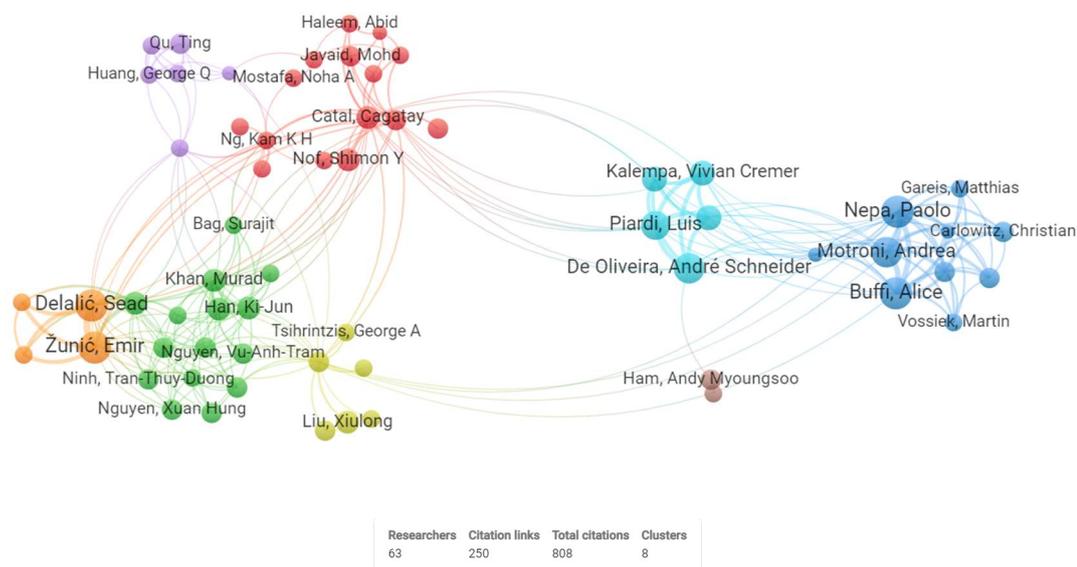


Fonte: Autor, 2021

Na análise de citações, onde o parentesco dos pesquisadores é determinado com base

no número de vezes que eles citam uns aos outros, a rede *VOSviewer* apresentou o resultado de 63 investigadores, relação entre 250 no total de 808 citações de 8 agrupamentos, vide Figura 4.

Figura 4. Relação de citações entre os pesquisadores



Fonte: Autor, 2021

Assim, cumprindo-se com o objetivo da revisão da literatura, os artigos selecionados obedeceram a seleção para bibliografias voltadas aos assuntos pertinentes a armazéns inteligentes com aplicação de tecnologias habilitadoras no contexto da logística 4.0.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os principais fundamentos da logística 4.0 e suas tecnologias habilitadoras. A abordagem visa destacar o valor destas tecnologias para o desenvolvimento de armazéns inteligentes.

3.1 Logística 4.0

Ballou (2019) define logística como o processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, fluxos de informações através da organização e seus canais de marketing de forma que a lucratividade atual e futura seja maximizada através do atendimento econômico de pedidos.

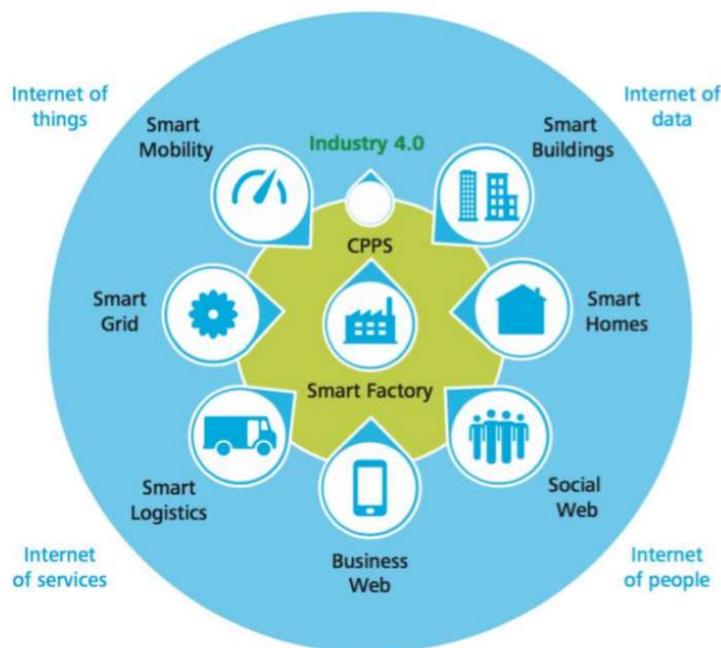
Para Mattsson (2018), a logística afeta o lucro a longo prazo de três maneiras: atendimento ao cliente, custos e capital vinculado. Se o departamento de logística conhece essas áreas e tenta maximizar o serviço, minimizar custos e capital vinculado, é possível melhorar a lucratividade e obter uma vantagem competitiva a longo prazo.

Com as transformações tecnológicas ocasionadas pela Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, os processos logísticos também precisaram ser revistos para melhorar sua eficiência e produtividade por meio de aplicações mais modernas. De acordo com Wegener (2015), a essência da Indústria 4.0 é a Internet das coisas (IoT), que significa a onipresente conexão de máquinas², produtos, sistemas e pessoas. Em outras palavras, as máquinas e os produtos podem se comunicar para que possam gerenciar a si próprios e uns aos outros. Ferramentas, produtos ou meios de manipulação e transporte devem interatuar dentro de um ambiente virtual, criando uma ligação contínua entre o mundo virtual e o mundo físico.

Segundo Deloitte (2014), o valor central para a indústria 4.0 é sua interface com outras infraestruturas inteligentes, como as de mobilidade inteligente, rede inteligente, logística inteligente, casas e edifícios inteligentes, como ilustra a Figura 5.

² No contexto desta pesquisa, o termo “máquinas” refere-se aos SCF.

Figura 5. Ambientes da indústria 4.0



Fonte: Deloitte, 2014

A Figura 5 permite compreender que, no conjunto de soluções da Indústria 4.0, existe uma série de oportunidades de aplicações tecnológicas que visam contribuir com o avanço da sociedade guiada por recursos e ambientes inteligentes, bem como a transversalidade de interfaces em segmentos distintos.

A pesquisa em questão, se inicia por uma avaliação do estado da arte do ambiente de logística, trazendo como contribuição, um estudo mais aprofundado e delimitado no desenvolvimento de uma arquitetura de armazéns inteligentes para uma logística 4.0.

Dada a exigência em melhorar os fluxos nas operações empresariais, e caracterizada como um dos elementos mais significativos da cadeia de suprimentos, a logística vem sendo vastamente afetada pelas características da Indústria 4.0, como aplicações de *big data*, Sistemas Ciberfísicos (SCF), sensores inteligentes e inteligência artificial. Segundo Jahn et al. (2018) a logística 4.0 pode ser definida como uma rede de toda a cadeia de suprimentos por meio de tecnologias da informação (TI), onde sensores e robótica avançada são usados nas operações.

Vários elementos-chave da logística, incluindo armazenamento, manuseio, transporte, distribuição e serviços de informação, foram forçados a mudar por soluções tecnológicas para aumentar a eficiência (HORENBERG, 2017). Embora a literatura inclua diferentes definições de logística 4.0 ou logística Inteligente, todos os estudos concordam sobre as características de “desenvolvimentos tecnológicos e processos autônomos” (DIWAN, 2016).

Em abordagem integrante, Szymańska et al. (2017) definiram logística 4.0 dentro de duas abordagens: a processual, que significa aumentar a eficiência e o desempenho dos membros da cadeia de suprimentos e o técnico, que inclui elementos da Indústria 4.0, como digitalização, automação, mobilidade e IoT.

Cardin et al. (2017) apontam que esses avanços e alterações tecnológicas no ambiente de negócios estão contribuindo amplamente para a dinâmica das operações logísticas. Assim, os sistemas logísticos são considerados inteligentes quando têm a capacidade de comunicar e transmitir informações de forma autônoma pela organização aos responsáveis pelo processo (AMODU e OTHMAN, 2018).

Embora, para que haja a interação entre os recursos de comunicação e fornecimento de dados relevantes, o fluxo de materiais e processos precisam ser arquitetados e operacionalizados de modo inteligente e lógico. Dessa forma, as informações de todas as operações poderão ser monitoradas de perto e sincronizadas entre o chão de fábrica e o espaço cibernético computacional, criando uma rede onde todas as informações podem ser compartilhadas em tempo real (LEE et al. 2014).

Logo, entende-se que um dos objetivos da logística 4.0 é aumentar o uso da capacidade e usar processos autônomos com alto nível de mobilidade, modularidade, compatibilidade, comunicação e informações em instalações de logística (SCHLOTT, 2017).

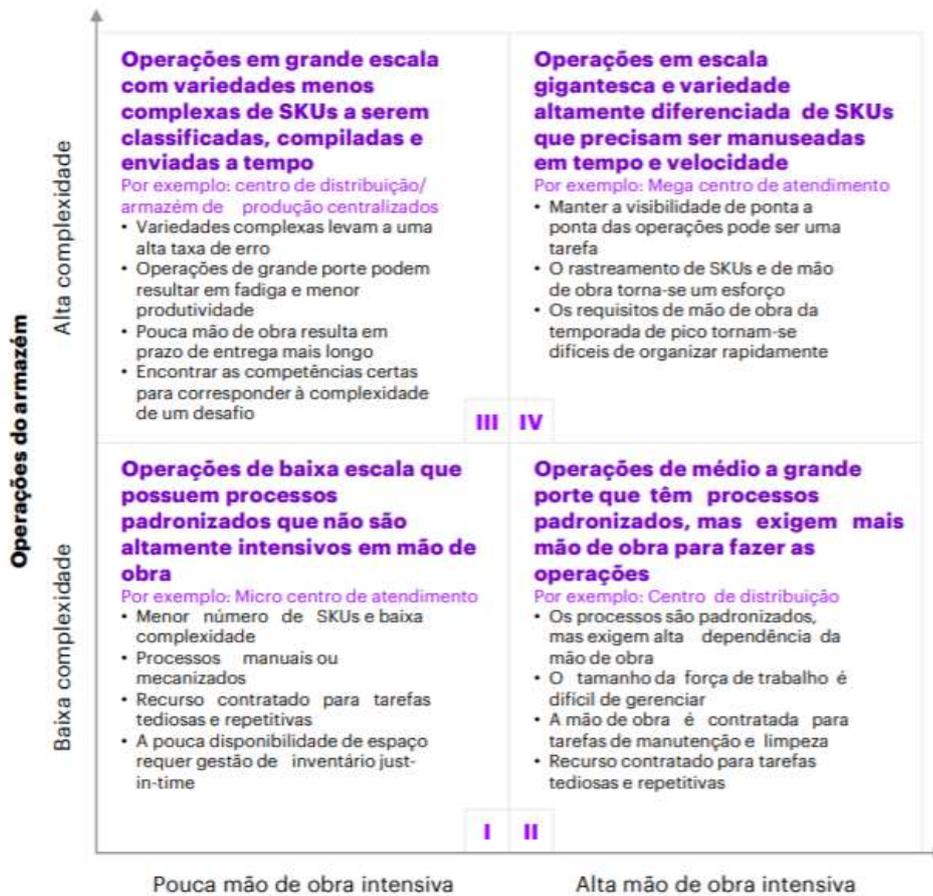
Na conjuntura da Logística 4.0 em armazéns, a integração de sistemas, interfaces e recursos é um dos desafios a serem superados para incorporar práticas de operações logísticas mais modernas. Com a introdução de inteligência nas operações dos armazéns, por exemplo, os processos tendem a se tornar menos dependentes e responsivos à variabilidade do trabalho humano, como pode ser visto na próxima seção.

3.2 Armazéns inteligentes

Armazéns são ambientes destinados a acomodar, movimentar, transportar, inspecionar, inventariar, embalar, separar, unitizar e expedir mercadorias solicitadas por clientes. A cadeia de abastecimento de um armazém tem partes interessadas a montante e a jusante. A montante são representados pelos fornecedores, que por sua vez são responsáveis por abastecer os armazéns com seus produtos. O *stakeholder downstream*, ou seja, os clientes a jusante, ordenam os pedidos em determinadas quantidades e especificações para atender suas necessidades. Logo, manter uma boa comunicação entre as partes envolvidas é, sobretudo, um desafio que as empresas compartilham quando se trata de intervenções nesses ambientes.

Outro aspecto relevante a ser mencionado ao entender quem são as partes envolvidas, estruturação e intervenções necessárias nos armazéns, diz respeito à classificação desses ambientes, quanto a sua complexidade de operação, padronização, intervenção humana e volume de itens movimentados. Assim, a Accenture (2021) apresenta na Figura 6, uma matriz de classificação de armazéns com a finalidade de categorizar de acordo com a característica das operações.

Figura 6. Matriz de classificação de armazéns



Fonte: Accenture, 2021

Em armazéns tradicionais, o processo de identificação e rastreamento dos produtos é realizado com intervenção humana, na maioria dos eventos são utilizados planilhas, leitores ou coletores portáteis. A separação dos pedidos também é feita manualmente. Nas demandas onde precisam ser montados kits ou pedidos para distribuição, as operações também são realizadas manualmente. Isso, pode incorrer em erros operacionais, fadiga, papelada excessiva e *lead times* extensos, visto que, a exemplo do quadrante IV da Figura 6, na qual representa uma operação

de alta complexidade e alta mão de obra intensiva, a rastreabilidade dos itens e processos pode ser comprometida, assim como a qualidade das operações dentro do armazém.

A categorização apresentada na Figura 6, reforça essas características e destaca que se faz necessário o entendimento do modelo de armazém que a empresa se enquadra, para que dessa forma, as intervenções para alcançar as melhorias e investimentos em tecnologia tenham um propósito.

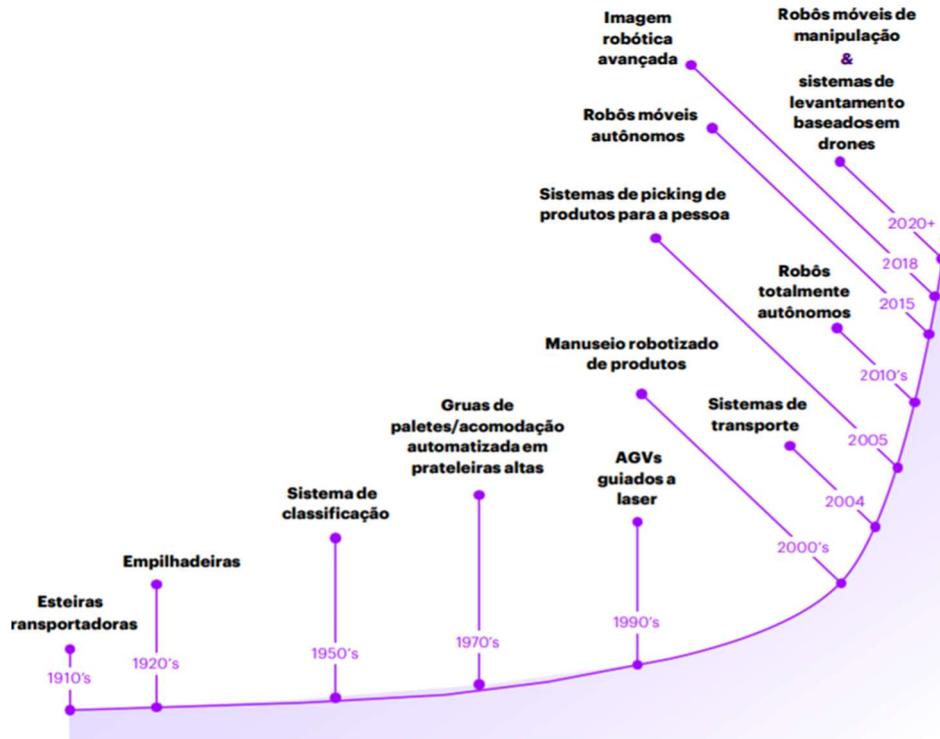
Armazéns são elementos importantes do setor de logística, porque sua eficiência operacional determina a eficiência da logística (HONG-YING, 2009). Para se tornar um espaço onde o fluxo de materiais e informações sejam transitadas em uma configuração inteligente, as instalações nos armazéns precisam ser capazes de interconectar os processos por redes de comunicação. A arquitetura lógica cibernética permitirá que os sistemas possam se comportar de maneira integrada e coerente, acionado por linguagens programadas para transformar cenários complexos em soluções práticas e eficientes.

No entanto, o gerenciamento ineficiente desse espaço pode acarretar custos elevados de operação, provocados por *layouts* mal definidos, utilização de equipamentos de movimentação inadequados e manuseio excessivo de material (KAMALI, 2019).

Segundo Veenman e Tagscherer (2018), o ritmo da mudança nunca foi tão rápido quanto hoje, e essas modificações irão influenciar o armazém do futuro. De transformações demográficas a crescente urbanização, e de drones à impressão 3D, mudanças sociais e tecnológicas vão colocar pressão sobre os gerentes da cadeia de abastecimento para aproximar as mercadorias dos consumidores e desenvolver armazéns adaptáveis e ágeis para oferecer suporte local e entrega por meio de múltiplos canais.

Pesquisas da Accenture (2021) apontam que o nível certo de automação e autonomia não só permitirá operações de armazém mais rápidas, seguras e eficientes no dia a dia, ele também reduzirá os custos e os prazos de entrega, criando uma operação mais rápida, mais enxuta, mais dimensionável e mais sustentável, fornecendo ao consumidor final o nível de serviço orientado à lealdade esperada nesta economia sob demanda.

Figura 7. Linha do tempo com avanço das aplicações de automação em armazéns



Fonte: Accenture, 2021

De acordo com Pacchini et al. (2019), robôs autônomos, simulações computacionais, integração de sistemas, internet das coisas, cibersegurança, computação em nuvem, manufatura aditiva (impressão 3D), realidade aumentada (AR) e análises baseadas em *big data*, são algumas das tecnologias que permitem automatizar as funções de armazéns tradicionais evoluindo-os para os chamados armazéns inteligentes. Na Figura 7, exibe a escala evolutiva dessas tecnologias ao longo dos anos.

Jabbar et al. (2018) afirmaram que um armazém inteligente é um armazém projetado para operar com a máxima eficiência e integrar as melhores práticas e tecnologias avançadas. Portanto, um armazém inteligente pode funcionar no mais alto nível em um mercado em rápida mudança. No entanto, para entregar em velocidade e escala, os executivos de armazéns não podem simplesmente investir em toda e qualquer solução de automação e autonomia. Cabe escolher as tecnologias certas condizentes com a estratégia da cadeia de suprimentos, setor ou armazém da empresa.

O armazenamento de dados na nuvem, por exemplo, torna-os acessíveis a qualquer hora, em qualquer lugar, a todos os tomadores de decisões. Executar algoritmos inteligentes usando análise de dados, aprendizado de máquina ou inteligência artificial dá sentido aos milhões de

*datapoints*³ diários do armazém que habilitam tecnologias inteligentes como robôs, veículos autônomos, sistemas de visão computacional, processadores de linguagem natural ou agentes virtuais. *Insights* contínuos extraídos dessas tecnologias são fundamentais para o planejamento simultâneo e análises de cenários, necessários para ajudar a realizar operações ágeis nos armazéns e aumentar as capacidades de resolução de problemas.

De acordo com o estudo de pesquisa de mercado pós-pandemia feitas pela LogisticsIQ (2021), as vendas globais de comércio eletrônico cresceram a um CAGR (*Compound Annual Growth Rate*)⁴ de 20% na última década, atingindo ~ US\$ 3,5 trilhões em todo o mundo em 2019 e devem crescer para ~ US\$ 7,5 trilhões até 2026. A participação das vendas no varejo *on-line* passou de ~ 2% do total para ~13%, e espera-se que alcance ~22% até 2026.

Com a série de mudanças que vêm acontecendo na sociedade, mais renda disponível e maiores exigências dos consumidores, a tendência é cada vez mais a ampliação de centros de distribuição adaptáveis e aproximação dos produtos para mais perto dos consumidores. As soluções emergentes de hoje, como UGV- *Unmanned Ground Vehicles* (veículos terrestres não tripulados), UAV - *Unmanned Aerial Vehicle* (veículo aéreo não tripulado), softwares modulares e inteligentes, fornecem a velocidade e flexibilidade necessária para fornecer recursos essenciais e dar continuidade na evolução para atender às demandas do futuro.

Na intralogística, Lee et al. (2018) afirmam que o desenvolvimento da indústria 4.0 afetou de forma diferente o modo de operabilidade das atividades dentro dos armazéns. Tais inovações em sistemas de armazenamento forçam a adequação e a transformação do modelo de negócios existente com base em tecnologias emergentes. Com o avanço dos meios de comunicação, 5G, IoT, sensoriamento e digitalização, inovações estão sendo empregadas de modo a permitir um modelo de atendimento ao cliente com níveis de serviço mais elevados.

Conquanto, o uso da IoT, além dos benefícios proporcionados, também incorre em entraves e problemas de segurança dentro de sistemas, pois muitas vezes podem se tornar o alvo de ataques cibernéticos, modificando, interceptando ou excluindo dados transacionados. De acordo com Toshniwal et al (2015), os métodos de criptografia existentes ainda não são suficientes para garantir um nível de segurança satisfatório. Da mesma forma, faltam soluções de software adequadas para gerenciar e analisar um grande número de dados.

³ Um ponto de dados é uma unidade discreta de informação. Em um sentido geral, qualquer fato único é um ponto de dados. Em um contexto estatístico ou analítico, um ponto de dados geralmente é derivado de uma medição ou pesquisa e pode ser representado numericamente e/ou graficamente.

⁴ Refere-se à taxa de crescimento anual composta. Isso quer dizer que ele diz respeito à taxa de retorno necessária para um investimento crescer do seu saldo inicial para o final. Essa ferramenta é importantíssima para análise de investimentos, sendo muito usada por analistas e fundos.

Já para Liu et al. (2018), fatores como localização robusta de objetos, agendamento de comunicação com eficiência de tempo, reconhecimento de atividade humana e robótica colaborativa, são considerados os principais desafios de pesquisa para aplicativos de armazém inteligente.

Em abordagem complementar, a Honeywell (2020), aborda que as empresas de transporte e comércio eletrônico dependem da movimentação de mercadorias de um local para outro de forma eficiente e segura. Isto requer sensores no equipamento entre armazéns, fábricas, e centros de distribuição, o que leva a grandes quantidades de dados. Para eles, o diferencial refere-se aos algoritmos de aprendizagem automática, quando recebem esses dados e utilizam os conhecimentos para tomar decisões rápidas e assertivas.

Logo, entender quais são as principais tecnologias que habilitam esses armazéns inteligentes, torna-se um compromisso para as empresas que projetam melhorar o desempenho logístico investindo em recursos que tenham esses propósitos.

3.3 Tecnologias habilitadoras

Segundo Diisrte (2012) uma tecnologia habilitadora é uma tecnologia que pode conduzir a mudança radical na capacidade de um usuário ou cultura, permitindo a criação de produtos radicalmente novos ou serviços ou processos mais eficientes. Nesta seção serão apresentadas tecnologias habilitadoras sobre à luz do tema, armazéns inteligentes, com intuito de compor uma análise crítica que subsidiará a abordagem proposta.

3.3.1 Internet das Coisas (IoT) e Internet Industrial das Coisas (IIoT)

A emergente Internet das Coisas (IoT) fornece uma ampla gama de plataformas para diferentes tecnologias, conectando diferentes dispositivos e são automatizados por meio de sensores. Ela constrói uma plataforma que é responsável pelo funcionamento de vários dispositivos inteligentes. Depois de instalar IoT em dispositivos, eles são capazes de se comunicar uns com os outros sem envolver intervenção humana e computador. (JAIDKA et al., 2020).

As aplicações da Internet das Coisas (IoT) foram realizadas na vida real por muitos anos. No cotidiano, os dispositivos IoT estão conectados um com outro para compartilhar algumas informações sem envolver esforços humanos. (J. LIN et al., 2017). Segundo os autores, em 1999, Kelvin Ashton, cunhou o termo "Internet das coisas". Ele deu o nome, a fim de demonstrar a ideia de que como os objetos manualmente podem ser conectados à rede. Mais

tarde, a tecnologia foi aprimorada para aplicações em fábricas inteligentes e na tecnologia da computação, a partir daí, tornou-se a Internet Industrial das Coisas (IIoT). IIoT não é apenas configurar uma conexão entre máquinas, mas também unidade de interface para um sistema perfeito. A grande expectativa é que os trabalhos simples e constantes como controle de qualidade, montagem, administração e arranjo serão supridos por IIoT.

Para a pesquisa em questão, o direcionamento da arquitetura proposta será fundamentada na utilização do IIoT. Portanto, cabe esclarecer a diferença entre as aplicações, em termo de capacidade de comunicação, quantidade de dados, dentre outros aspectos apresentados no Quadro 5. Comparativo entre IoT e IIoT.

Quadro 5. Comparativo entre IoT e IIoT

Aspecto	Internet das Coisas (IoT)	Internet Industrial das Coisas (IIoT)
Coisas ligadas	Dispositivos de nível de usuário, basicamente não muito caro.	Máquinas caras, sensores, sistemas, basicamente com alto grau de dificuldade
Modelo de serviço	De base humana	Baseado em máquina
Capacidade de Comunicação	Um número menor de padrões de comunicação	Uma grande variedade de conectividade tecnologias e padrões.
Transporte de comunicação	Normalmente, sem fio	Tanto com fio quanto sem fio
Quantidade de dados	Médio a alto	Alto para muito alto
Avaliação	Bastante trivial	Confiável (tempo, segurança e privacidade confiabilidade)

Fonte: Adaptado de Himanshu e Rajinder, 2020

Diante desse comparativo, verifica-se que na abordagem voltada à armazéns inteligentes, o uso da IIoT torna-se mais favorável, uma vez que podem ter uma grande variedade de protocolos de comunicação e conectividade de tecnologias que demandarão um alto volume de dados, interligados por sensores e redes cabeadas para garantir segurança e confiabilidade no intercâmbio de informações.

Em resumo, seja pela aplicação industrial ou convencional da tecnologia, o conceito de IoT é definido como uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis onde "coisas" físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos, personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes (VERMESAN et al., 2011).

No estudo, a IoT juntamente com outras tecnologias como *big data* e inteligência

artificial, podem contribuir no desenvolvimento de armazéns inteligentes por meio do aumento da disponibilidade e volume de dados em sistemas industriais (TAO, QI, LIU e KUSIAK, 2018) reduzindo o custo de coleta e armazenamento de grandes conjuntos de informações (PERES e FOGLIATTO, 2018), tecnologias IoT proveem tais capacidades estendendo a interconexão entre diversos dispositivos ligados a processos industriais e logísticos, permitindo a coleta de dados de forma intermitente, orientando a tomada de decisão síncrona ao considerar diversos aspectos do estado atual de sistemas complexos (QU, et al., 2016; TAO, QI, LIU, e KUSIAK, 2018).

3.3.2 *RFID (Radio Frequency Identification)*

RFID (identificação por radiofrequência) é uma tecnologia que tem sido amplamente adotada em diferentes ambientes, como manufatura, armazenamento, varejo, distribuição etc., para identificação e rastreabilidade de objetos (XU e GANG, 2006). A RFID usa uma pequena etiqueta contendo um chip de circuito integrado e uma antena, que tem a capacidade de responder às ondas de rádio transmitidas do leitor RFID.

A tecnologia pode armazenar vários milhares de dígitos e é, portanto, uma boa ferramenta para identificar produtos, incluindo quaisquer restrições de compatibilidade e o histórico do produto. Esse histórico de produto pode agregar valor significativo à cadeia de suprimentos na gestão dos estoques, plano de aquisições e previsão de demanda. Embora seja muito mais cara do que a tecnologia de código de barras, as empresas estão dispostas a adotar tais técnicas para melhorar a precisão da captura de dados (MORRISON, 2005).

Segundo Maarten et al. (2021), a etiqueta (*tag*) RFID pode ser ativa ou passiva. Uma *tag* ativa tem uma fonte de bateria e transmite continuamente seu sinal. Elas têm um alcance de leitura maior e permitem informações em tempo real. No entanto, essas *tags* ativas são mais caras. Já as etiquetas passivas não têm fonte de alimentação própria e precisam de um leitor RFID para serem lidas. É uma solução econômica, utilizada principalmente por suas funcionalidades de rastreamento e etiquetagem inteligente.

Lee e Özer (2007) reforçam que a RFID pode auxiliar na redução do encolhimento de três formas diferentes: primeiro, permite monitorar com precisão o inventário, colaborando com a redução de roubos e fraudes, resultando na redução direta do encolhimento do estoque; segundo, conforme a precisão de leitura alcançada, a RFID aumenta a precisão das informações obtidas geralmente por meio da leitura de código de barras, que é mais vulnerável a erros humanos e a avarias nas etiquetas; por último, a tecnologia fornece visibilidade para que os

dados do sistema correspondam ao estoque real, permitindo o reabastecimento mais preciso e reduzindo as faltas de estoque.

A tecnologia de identificação por radiofrequência passou a ser vista com um dos elementos da IoT (FAN et al., 2015), com o propósito de interconectar dispositivos em rede. Em suma, a conexão de objetos físicos à internet permite executar de forma coordenada determinadas atividades, como, por exemplo, desde o rastreamento do estoque até o acesso ao prédio (ZHU et al., 2012).

Para Moura (2006) a comunicação de dados por rádio frequência está revolucionando a forma de funcionamento dos armazéns e centros de distribuição, e quando usada em conjunto com softwares em tempo real e com o código de barras pode chegar a um nível de acuracidade de inventário de mais de 99%.

Segundo Alves (2016), um sistema RFID é composto de cinco elementos: tag, antena, leitor, middleware e sistema. A Figura 8 apresenta o fluxo e os componentes:

Figura 8. Componentes do sistema RFID



Fonte: Adaptado de Alves et al., 2016

3.3.3 Redes de Comunicação

Com o aumento na quantidade de aparelhos conectados nos armazéns, é essencial ter uma conexão estável em todas as áreas de operação com a mesma intensidade de sinal.

Para atender as necessidades de densidade de tráfego, densidade de conexão e mobilidade, a tecnologia de comunicação móvel e a indústria entrarão no estágio de desenvolvimento de comunicações móveis de quinta geração (5G), mais inteligentes, mais flexíveis e com objetivos ecologicamente amigáveis (Zhang et al., 2019).

Em termos de redes de acesso, as redes 5G suportarão redes *plug-and-play* e são auto-organizadas de estações base para obter uma topologia de rede de acesso leve que seja fácil de implantar e manter (KHALLOUKI e BAHAJ, 2019).

As redes 5G darão suporte às necessidades da indústria com uma rede mais aberta e amigável, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6. Comparativo entre rede cabeada e rede 5G

	Rede cabeada	Rede 5G
Fiação	A fiação é complicada e vários sistemas de rede coexistem, o que resulta em inundação de cabos.	Nenhuma fiação é necessária e nenhum cabo está em todos os lugares.
Custo de investimento	A construção é difícil, o ciclo é longo, complicado e os recursos são desperdiçados.	A diferença de preço entre o equipamento 5G e o com fio não é grande, mas nenhum material de duto é necessário e o custo de construção é baixo.
Confiabilidade	Vulnerável a interferências e perda de pacotes, afetado por obstáculos e fontes de interferência.	A tecnologia possui forte capacidade anti-interferência, portanto, não é fácil ser interferido e perdido.
Segurança	Se um usuário ilegal quiser acessar o sistema, ele deve primeiro ser capaz de se conectar à linha física, conectar à rede na placa de rede e passar na verificação de identidade da rede cabeada. Além disso, a rede cabeada terá a segurança de um firewall a considerar, que pode maximizar para melhorar a segurança da rede.	No sistema de rede 5G, devido à pesquisa militar inicial sobre tecnologia anti-escuta nas comunicações 5G, as LANs 5G foram projetadas desde o início para resistir a ruídos e interferências, bem como bloquear e detecção não autorizada.
Escalabilidade	Necessidade de implantar novos pontos de informação e instalar <i>pipelines</i> correspondentes para expandir.	Contanto que esteja dentro da cobertura do sinal, ele pode ser expandido de forma flexível.

Fonte: Adaptado de Yan e Li, 2020

Comumente, o meio de transmissão de informações na rede é principalmente cobre ou cabo óptico. Como a rede é difícil de instalar cabos e pontes em alguns ambientes especiais, alguns locais ainda não permitem a instalação de cabos e outras operações. Se a distância entre os dois locais for grande, a carga de trabalho de colocação dos cabos será maior, aumentando o custo. Portanto, se a tecnologia de comunicação 5G for usada, quando aplicável, esses problemas podem ser muito bem superados (MINOLI et al., 2017).

Em armazéns é crucial essa análise, pois se trata de um ambiente muito poluído eletromagneticamente, e também com muitas interferências que atenuam sinais.

A tecnologia de rede de comunicação com fio está muito desenvolvida e amplamente utilizada em sistemas modernos de controle inteligente e automático. Com o rápido desenvolvimento e melhoria contínua da tecnologia de comunicação 5G, a comunicação se tornou cada vez mais popular (KHOSHNEVISAN et al., 2019).

Com informações mais rápidas, os armazéns tendem a realizar programações mais precisas no intuito de otimizar recursos de recebimento, movimentação e armazenamento de materiais, identificar potenciais atrasos e, prever o momento exato em que o pacote ou veículo chegará ao seu destino. Com o 5G, o potencial de utilização da identificação por radiofrequência (RFID) nos armazéns amplia o monitoramento de toda a carga, com o rastreamento das informações e materiais que são movimentados sem que haja interferência de sinal, além de reduzir a necessidade de conectar equipamentos com fios e cabos.

Embora, devido ainda a baixa acessibilidade à comunicação 5G, pode-se citar tecnologias *wireless* também importantes para conectividade IoT, sobretudo nas operações logísticas em armazéns inteligentes. Dentre os diversos métodos de comunicação sem fio disponibilizados no mercado, algumas alternativas no âmbito da automação industrial ganham destaque, como: Wireless_Hart, Bluetooth, Wisa, Wi-Fi, Zigbee e SP-100.

Vale destacar que, dentre as opções mencionadas para configuração de redes de comunicação em armazéns, deve-se primeiramente avaliar as interferências, custos, distâncias, segurança, conectividade com os dispositivos e escalabilidade, ou seja, avaliar as alternativas de rede para cada caso.

3.3.4 *Sistema de Visão Computacional*

Segundo Gonzalez e Woods (2008), o processamento digital de imagens é um campo que engloba processos cujas entradas e saídas são imagens e, adicionalmente, processos que extraem características das imagens e realizam o reconhecimento de objetos individuais. O processamento digital de imagens pode ser dividido em três níveis, conforme Figura 9.

Figura 9. Níveis de processamento dos sistemas de visão computacional.



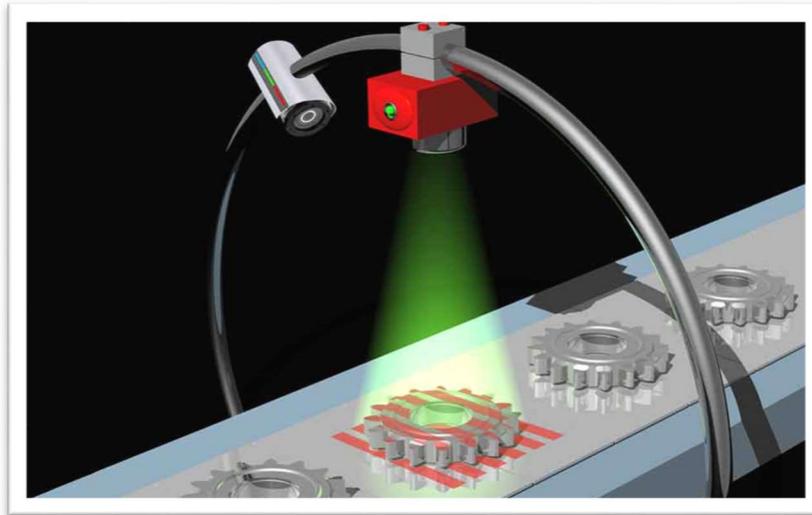
Fonte: STIVANELLO et al., 2019

O processamento de baixo nível, caracteriza-se por operações iniciais, relacionadas ao pré-processamento da imagem. Nesse nível, tanto a entrada como a saída do processo são imagens. O processamento de nível intermediário é composto por operações como segmentação, descrição de objetos e classificação de cada objeto. Em geral, a entrada de processos de nível médio são imagens, porém suas saídas são características extraídas dessas imagens. O processamento de alto nível, por sua vez, consiste na análise do significado de um conjunto de objetos reconhecidos, executando tarefas cognitivas geralmente associadas ao sistema de visão.

Para Stivanello et al. (2019), o processamento de imagens e a visão artificial desempenham um papel fundamental no desenvolvimento desses sistemas. A visão artificial, parte da inteligência artificial, é um conjunto de teorias, técnicas e métodos que permitem simular o processo de visão biológica dos seres humanos e a capacidade de extrair e analisar automaticamente as informações das imagens.

Dentre os elementos mais importantes dos sistemas de visão, vide Figura 10, destacam-se: o sistema de iluminação - um dos fatores críticos a ser ponderados como intensidade, direção e fonte de iluminação; sistema de aquisição – composta de uma lente, um elemento fotossensível, um circuito de processamento e uma fonte de alimentação e; o sistema de processamento - encarregado de executar softwares especializados com diferentes algoritmos que compõem um fluxo de processamento de imagens.

Figura 10. Exemplo de estrutura de Sistema de Visão Computacional



Fonte: Si Vision, 2018

Nos armazéns inteligentes, o sistema de visão computacional tem o objetivo de apoiar as funções de recebimento de materiais por meio da conferência automatizada na leitura e identificação dos itens previamente cadastrados, no processo de inventário, registros de saída, anomalias nos materiais, bem como o registro de movimentos de máquinas e pessoas, com o propósito de analisar oscilações ou desvios na operação.

3.3.5 *Inteligência Artificial (IA)*

Duan et al. (2019) afirmam que com os avanços tecnológicos em *big data*, supercomputação e aprendizado de máquina, a IA se tornou mais humana e mais capaz de resolver problemas, aprender, manipular objetos e navegar no espaço físico.

O foco da IA é “compreender o fenômeno da inteligência humana e projetar sistemas de computador que possam imitar os padrões do comportamento humano e criar conhecimento relevante para a resolução de problemas” (MIN, 2010). Para Davenport & Ronanki (2018), os benefícios de negócios esperados da IA incluem a otimização das operações internas, tomada de melhores decisões, melhoria de produtos existentes, liberação dos trabalhadores para atividades mais criativas, busca de novos mercados e criação de novos produtos.

Daugherty & Wilson (2018) destacam que a IA também tem o potencial de superar os limites intelectuais e físicos dos humanos, abrindo uma variedade de oportunidades de aplicação com impactos significativos na produtividade e no desempenho empresarial.

De acordo com Dwivedi et al. (2019), a IA gera valor aos negócios de três maneiras: automatizando processos, criando percepções inovadoras e envolvendo as partes interessadas nos processos de negócios. Embora a IA tenha grande potencial, ainda existem muitos desafios no que diz respeito à sua aplicação na prática. Tem sido argumentado que, para muitas empresas, os aplicativos de IA ficaram aquém de atingir a produtividade esperada porque os gerentes não sabem como integrar IA de maneira eficaz com os processos e sistemas existentes (BRYNJOLFSSON et al., 2017; DAVENPORT & RONANKI, 2018).

Mahroof (2019) e Min (2010), convergem que a IA pode ser usada para entender e prever tendências de vendas para planejamento de armazenamento e gerenciamento de reposição. Juniper Research (2018) prevê que a previsão de demanda com base em IA deverá mais do que triplicar até 2023. Assim, integrar a IA com colaboradores nos processos de trabalho é avaliada como uma solução eficaz para superar as barreiras relacionadas à força de trabalho e à carga de trabalho.

Para o propósito desta pesquisa, a IA será destacada como uma ferramenta de análise de dados temporais, ou seja, uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo para apoiar em decisões críticas de movimentação, endereçamento de itens, distribuição de equipes, tendências e antecipação de demanda em centros inteligentes de armazenagem de materiais. De acordo com a Forbes (2019), hoje em dia, são os dados que alimentam a revolução digital e, da mesma forma, as organizações que têm acesso exclusivo e que tem capacidade de processá-los da melhor forma é quem tem vantagem frente ao mercado.

3.3.6 *Veículos Guiados Automatizados (AGV)*

De acordo com Marodin et al., (2012), um melhor aproveitamento dos recursos humanos e a otimização dos processos de movimentação de materiais são essenciais para o aumento da produtividade industrial. Com a redução de estoques e o uso do fluxo contínuo de peças, aumentam as exigências de confiabilidade e velocidade na logística de materiais.

Uma das tecnologias de movimentação de materiais nas indústrias é o Veículo Guiado Automaticamente (AGV - *Automatic Guided Vehicle*), vide Figura 11, principalmente no que diz respeito ao abastecimento da produção e coleta de materiais no armazém, seu transporte é seguro e eficaz, trazendo grandes benefícios aos usuários deste (ATLEE, 2011).

Figura 11. Exemplo de AGV aplicado em armazéns



Fonte: Fersiltec, 2021

O AGV consiste em um veículo elétrico programado, guiado através de trilhos, sensores ópticos, rádio frequência ou a laser. Oferece segurança e velocidade em operações ininterruptas, podendo transportar caixas, carrinhos ou pallets. Além disso, favorece as condições ambientais e acústicas da fábrica (sem ruído) (KIM e TANCHOCO, 1999).

Porém, de acordo com a EDGE Global Supply (2019), com os avanços tecnológicos e a necessidade cada vez mais latente de adaptação a indústria 4.0, esses modelos foram evoluindo até chegarem a outros mais inteligentes, como o AMR (*Autonomous Mobile Robots*) pois navegam a partir de sensores e scanners presentes em seus componentes, desviando de forma autônoma dos obstáculos.

Os AGV e AMR são facilmente programáveis e não precisam de uma estruturação especial do ambiente para funcionarem. Além disso, são dotados de uma inteligência baseada em um software com mapas pré-carregados, imagens de câmeras e dados de sensores, que o tornam capaz de, até mesmo, escolher a melhor rota para o transporte que deve ser realizado.

3.3.7 Realidade Estendida (XR)

De acordo com Fast-Berglund (2018), realidade estendida (XR) é um termo que se refere a todos os ambientes combinados reais e virtuais e interações geradas por tecnologia de computador e *wearables*. Existem diferentes tipos de tecnologias XR, ou seja, Realidade Virtual (VR), Realidade Mista (MR) e Realidade Aumentada (AR).

Com aplicação na maioria das áreas do conhecimento, entre elas a medicina, mecânica, treinamento militar, ergonomia, jogos e entretenimento, e com um grande investimento das indústrias na produção de hardware, software e dispositivos de entrada e saída, a realidade virtual vem experimentando um desenvolvimento acelerado nos últimos anos e indicando perspectivas bastante promissoras para os diversos segmentos vinculados com a área (STANNEY, 2002) (SILVA et al., 2004).

Segundo Sherman e Craig (2003) a VR envolve a “imersão física”, que é o sentimento de estar com o corpo dentro desse outro ambiente. No enfoque complementar, Tori (2018), cita que a VR consiste em simulações digitais que colocam o usuário em um ambiente imersivo, utilizando efeitos sonoros, visuais, táteis e motores, conforme pode ser visto na Figura 12.

Figura 12. Utilização de óculos VR para imersão em ambientes simulados de armazéns



Fonte: Autor, 2021

No entanto, Akenine-Möller e Haines (2002) ressaltam que para conseguir interatividade, é essencial a geração das imagens em tempo real, o que geralmente exige um sistema computacional robusto e uso de várias técnicas para otimização da renderização, especialmente quando o mundo virtual tem grande volume de dados.

Já a Realidade Aumentada (RA) é vista como uma variação da VR. Em VR, o usuário é imerso em um ambiente sintético e não participa do mundo real a sua volta. A RA permite que o usuário veja o mundo real com objetos virtuais sobrepostos ou combinados com ele. Portanto, a RA suplementa a realidade, ao invés de substituí-la completamente. Para o usuário, os objetos reais e os virtuais coexistem no mesmo espaço.

No campo da logística e transportes, a realidade aumentada é vastamente empregada na otimização de processos como armazenamento, empacotamento, manuseio e transporte de mercadorias. Segundo Kückelhaus (2015), em grandes empresas do ramo, por exemplo, essa ferramenta melhora processos como o de retirada eletronicamente assistida de materiais, fundamentado na utilização de óculos de realidade aumentada pelos funcionários na tarefa de selecionar mercadorias com base no pedido do cliente: os óculos indicam a melhor rota para se chegar até o corredor onde está localizada a mercadoria e, também, a posição desta na prateleira.

Figura 13. Tecnologia de separação via realidade aumentada



Fonte: DHL, 2020

A Realidade Mista pode ser aplicada quando o real e o virtual são misturados, onde o virtual aumenta o real e o real aumenta o virtual (BARFIELD, 2016). Caracteriza-se como uma mistura entre as duas realidades VR e AR em que o operador tem interação com os objetos inseridos no meio físico por holografia e estes objetos podem interagir com todo ambiente a partir do mapeamento sensorial do local.

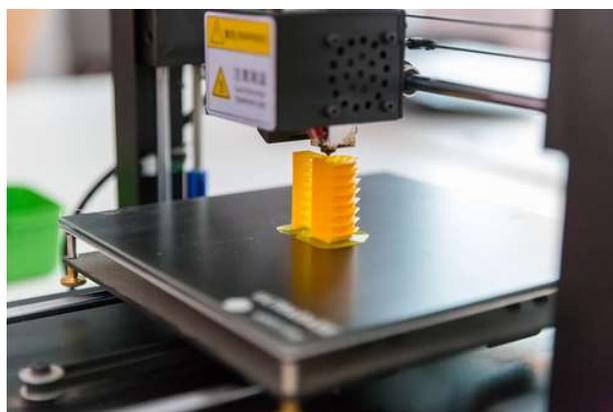
3.3.8 *Manufatura Híbrida*

Manufatura híbrida é uma nova tendência tecnológica de fabricação que permite produzir de maneira mais eficiente produtos com maior qualidade e altamente personalizados,

aproveitando as vantagens de combinar processos de manufatura aditiva e subtrativa (ZHU et al., 2013).

Para Sun et al. (2021) manufatura aditiva é o processo de fabricação de objetos camada por camada a partir de modelos digitais de geometria tridimensional, sem as restrições dos processos convencionais de forjamento, fundição e usinagem, vide Figura 14. Em processos convencionais ou redutivos, para fabricação de uma peça com geometria mais complexa, é exigido uma sequência de operações e ferramentas, na manufatura aditiva esse número de operações é reduzido, sendo assim uma fabricação mais direta (KUMAR e SATHIYA, 2020)

Figura 14. Técnica usada para a impressão 3D



Fonte: IND4.0, 2021

Segundo Gibson et al. (2015) manufatura aditiva é o termo formal para o que é popularmente conhecido como impressão 3D e para o que era chamado de prototipagem rápida. Já para Attaran (2017) a manufatura aditiva é a versão industrial da impressão 3D, em que manufatura aditiva é a tecnologia em si e a prototipagem rápida a aplicação dessa tecnologia.

Já as manufaturas subtrativas são caracterizadas basicamente pela remoção de material para a obtenção do produto desejado e são muito utilizadas no processo de desenvolvimento de produtos. O Corte a Laser é uma dessas tecnologias subtrativas que vem emergindo e popularizando-se com o decorrer dos anos, foi considerada uma das grandes descobertas do século XX (RASEIRA, 2013).

Este novo enfoque de manufatura tem atraído considerável atenção de pesquisadores e líderes industriais de todo o mundo nos últimos anos, sendo confiado para a nova geração de sistemas avançados de manufatura baseados em estações de trabalho multi-processos (RAUCH et al., 2014). Porém, o planejamento de processos híbridos ainda constitui uma tarefa complicada (BEHANDISH et al., 2018). Em termos de desenvolvimento de plataformas de

manufatura híbrida, existe uma área emergente com poucos trabalhos reportados até a data sobre o uso de robôs com capacidade para combinar técnicas de adição e remoção de material (KEATING e OXMAN, 2013; LIU, HAGHIGHI, e YANG, 2018).

Na logística de armazéns inteligentes a manufatura híbrida torna possível o emprego da estratégia de *postponement*⁵, quando os produtos são fornecidos em diferentes configurações e tamanhos, podendo ser impressos em formatos diferentes e personalizados, assim como no processo de fabricação/montagem. Nesse caso, o processo pode acontecer no armazém, após o recebimento de um pedido do cliente, evitando o transporte e o estoque de materiais que podem ser impressos. A justificativa econômica fundamental é de evitar o transporte e armazenagem de materiais comuns ou gerais. Isto é possível quando um produto básico é vendido em configurações diferentes, mas semelhantes, que refletem as preferências individuais dos clientes.

3.3.9 Robótica Colaborativa

O conceito Robô Colaborativo Industrial (*cobot*), surgiu pela primeira vez em 1995, como parte de um projeto de investigação realizado pela Fundação General Motors. Um sistema é considerado colaborativo quando existe ou possa existir uma interação, em tempo real, entre o operador e o robô durante a execução de uma tarefa (PESHKIN e COLGATE, 1999).

O objetivo da utilização destes equipamentos é conseguir que seja possível trabalhar com as pessoas lado a lado sem considerar nenhum tipo de contratempo. Segundo a Universal Robots (2018) as principais vantagens de braços robóticos colaborativos são:

- a) **Equipes de humanos e máquina:** Os robôs da indústria clássica realizavam o seu trabalho a seguirem um programa fixo, o que incluía não ter em conta as pessoas que trabalhavam com estes. De fato, neste caso, os acidentes evitam-se mantendo espaços de segurança. Estes *cobots* estão desenhados especificamente para trabalhar com pessoas. Deste modo, em vez de estarem "enjaulados", trabalham num ambiente cooperativo e ajudam com tarefas complexas que podem não ser completamente automatizadas.
- b) **Mais econômico:** Um dos aspectos mais atrativos dos *cobot* é o seu baixo custo se comparado com o preço de um robô convencional. A possibilidade de serem reutilizados

⁵ Adiamento da configuração final do produto ou o seu deslocamento até que sua demanda seja conhecida.

em diferentes funções de maneira rápida e serem de fácil programação permite que a sua instalação seja viável em qualquer tipo de empresa de qualquer setor.

- c) **Comportamento inteligente e seguro:** Estes equipamentos estão desenhados para trabalhar na mesma área que os operadores. Com sensores sofisticados, os *cobot* imobilizam ao mínimo contato, o que permite evitar qualquer perigo para as pessoas. Isso faz com que as áreas fechadas e os espaços de segurança já não sejam necessários.
- d) **Flexíveis e com capacidade de aprendizagem:** Os *cobot* são muito fáceis de programar. Por exemplo, um técnico pode realizar um movimento com o braço do *cobot* e este pode reproduzir o mesmo movimento de forma automática, o que reduz consideravelmente qualquer processo de programação.
- e) **Aplicável em qualquer lugar:** Os *cobots* não só são fáceis de reprogramar, também são relativamente fáceis de mover e de utilizar noutros pontos de linhas de produção. A maioria dos *cobots* podem ser montados em qualquer orientação, desde o solo até as paredes e tetos.

Como consequência da combinação de microprocessadores com métodos de inteligência artificial, os produtos, serviços e máquinas tornam-se mais inteligentes, em termos de terem, não apenas habilidades de computação, comunicação e controle, mas também, autonomia e até sociabilidade.

Para abordagem em armazéns, a robótica colaborativa convém como recurso para melhorar a eficiência, por exemplo, nos processos de atendimento de pedidos. Segundo Corrêa (2019), esses processos normalmente são mão-de-obra intensivos, bem como exigem muita movimentação, em toda a instalação.

De acordo com a Automni (2021), a automação colaborativa e flexível em armazéns e centros de distribuição já é uma realidade. Para cumprirem com o seu dever de despachar pedidos com mais agilidade e menos erros, empresas de vários setores e tamanhos têm buscado por tecnologias robóticas capazes de melhorar a produtividade e ao mesmo tempo promover maior segurança aos trabalhadores. Uma das maiores tendências atuais, é a adoção de robôs que trabalham lado a lado com as pessoas, o que conhecemos como robôs colaborativos ou *cobots*.

Segundo a Autommi (2021), o armazém médio desperdiça cerca de 6,9 semanas por ano em caminhadas desnecessárias, o que equivale a cerca de 265 milhões de horas de trabalho a um custo de US \$ 4,3 bilhões. Não só o excesso de movimentação é caro, mas também o desgaste pode diminuir a produtividade dos seus colaboradores de armazém ao longo do dia de trabalho.

Figura 15. Exemplo de robô colaborativo para unitização e embalagem de materiais



Fonte: Exame, 2021

As organizações que introduziram robôs em suas operações de armazenamento, *picking*, embalagem, conforme Figura 15 acima, e atendimento, perceberam valor agregado, incluindo melhorias de produtividade, ganhos de eficiência, capacidade de, economicamente, aumentar ou diminuir a escala nos picos e vales de demanda e a capacidade de melhorar os níveis de atendimento ao cliente, principalmente em tempo e precisão.

Os robôs colaborativos projetados com IA e o aprendizado de máquina são capazes de tomar decisões mais ágeis e ajudam os colaboradores a gerenciarem de forma mais eficiente múltiplas tarefas durante uma única viagem pelo armazém.

Ainda a Automni (2021) menciona que os robôs colaborativos auxiliam na carga de trabalho dos operadores, uma vez que eles circulam pelos endereços dos Centros de Distribuição coletando pedidos nos endereços cadastrados em sistemas de gerenciamento de armazéns, que são integrados a estes robôs. Alguns *cobots* estabelecem o ritmo de caminhada para os trabalhadores. Ao fazerem isso, os colaboradores se concentram em tarefas mais complexas e de raciocínio, como por exemplo, a separação de pedidos e o carregamento das transpaleteiras.

3.3.10 Digital Twin (Gêmeos Digitais)

O conceito *Digital Twin* (DT) surgiu na apresentação efetuada para a criação de um centro de *Product Lifecycle Management* (PLM), numa universidade de Michigan (USA), e foi mencionado pelo Dr. Michael Grieves, em 2002. Nessa apresentação ele demonstrou vários

elementos como um processo físico real, um espaço virtual e a conexão entre esses dois sistemas para a troca de dados.

Ao passar dos anos, o DT pode ser comprovado como um simulador de processo que ainda se tornará real. Permite identificar como se vai comportar os recursos, tempos de ciclo, quantidade ideal de operadores, projetar sistemas mecânicos, elétricos e pneumáticos, sendo possível encontrar oportunidades de melhorias no mundo virtual, antes de um processo ou recurso serem implantados, dessa forma mitiga os riscos de investimentos desnecessários e poupa tempo.

Junto com a aquisição de dados sensoriais, análise de big data, bem como AI e aprendizado de máquina, o DT pode ser usado para monitoramento, diagnóstico, prognóstico e otimização (ZACCARIA, et. al., 2018). Por meio da avaliação dos estados em andamento, do diagnóstico de problemas históricos e da previsão de tendências futuras, a DT pode fornecer suporte mais abrangente para a tomada de decisão em um amplo espectro de operações. Uma vez integrado com a representação digital de instalações, ambientes e pessoas, o DT pode ser usado para o treinamento de usuários, operadores, mantenedores e provedores de serviços (GOOSSENS, 2019).

Neste contexto, segundo Abramovici, et. al. (2016), o gêmeo digital pode auxiliar na garantia da continuidade da informação ao longo de todo o ciclo de vida do produto, comissionamento virtual de (manufatura) sistemas e suporte à decisão e previsões de comportamento do sistema na fase de desenvolvimento do produto, bem como todas as fases subsequentes do ciclo de vida com base em simulações auxiliadas por computador.

Em suma, DT significa um conjunto de entidade física, com sua representação digitalizada, que se comunicam, promovem e evoluem por meio de interações. As várias tecnologias de digitalização, as entidades, comportamentos e relações no mundo físico são digitalizadas holisticamente para criar modelos virtuais de alta fidelidade (ROSEN, et. al., 2015).

Nos armazéns, o DT pode auxiliar na tomada de decisões, fundamentada em análises de movimentação e armazenamento de materiais, por meio de observações de eventos já existentes ou no desenvolvimento de um novo fluxo, infraestrutura, operação, bem como intenção de investimento para modernização do espaço. Com a digitalização dos cenários, torna-se possível projetar aumentos de capacidade de processo, restrições aos fluxos logísticos, recursos necessários para atender a demanda (real/previsão), dimensionamento do layout e custos envolvidos.

3.3.11 Tecnologias de armazenamento e separação de materiais

Segundo Richards (2011), a automatização tem um grande impacto nos armazéns quando existe um elevado volume de artigos a ser recolhidos, sendo os requisitos de maior velocidade, precisão e produtividade os motivos pelos quais justifica-se a depender do caso, o investimento em tecnologia.

Bragg (2004) e Đukić et al. (2010) e concordam que a principal característica destas tecnologias é a eliminação de papel para se orientar e confirmar separação de pedidos dentro dos armazéns, portanto, também são defendidas como componentes do “armazenamento verde”, pois visam à redução do uso de consumíveis no armazém.

Cada vez mais, empresas investem na automatização dos processos logísticos como meio de melhorar o nível de atendimento ao cliente. No Quadro 7 é possível encontrar alguns exemplos de tipos de automação em atividades de armazenamento e separação (*picking*).

Dentre os benefícios apresentados, destacam-se em comum entre os recursos listados, a digitalização e automação da operação, melhoria na ergonomia, confiabilidade, menor tempo de treinamentos, redução de erros, melhor aproveitamento do espaço disponível e segurança do inventário.

Escolher qual a solução mais apropriada, requer um estudo de viabilidade técnica e financeira compatível aos interesses da empresa que pretende investir em tecnologias que melhorem seu desempenho nas atividades intralogística.

Quadro 7. Tecnologias de armazenagem e separação de produtos com as respectivas funções e benefícios

Tecnologia de separação		Função	Benefícios
Pick by light e put to light		São sistemas cómodos e intuitivos, que facilitam a preparação de pedidos sem necessidade de papéis, mantendo as mãos livres. Os dispositivos Pick To Light iluminarão a posição do artigo e mostrarão a quantidade necessária a recolher, estando instalados diretamente sobre os artigos. (Pick to light, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de picking sem papel; 2. Operação simples e segura; 3. Orientação segura ao operador e aumento da qualidade de picking em comparação à separação de pedidos com listas; 4. Máxima confiabilidade de entrega; 5. Acompanhamento transparente de pedidos.
Picking by voice		O sistema consegue, através do reconhecimento de fala, colocar o funcionário em comunicação direta com o WMS (Warehouse Management System), responsável por transmitir os comandos para a execução da tarefa. Em uma conversa de linguagem simples, o funcionário recebe em seu fone de ouvido as instruções para separar um pedido e vai confirmando, em seu microfone, todas as ações concluídas. (Delage, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento da produtividade; 2. Menor tempo de treinamento; 3. Redução nos erros de separação; 4. Maior segurança e ergonomia para os funcionários; 5. Visibilidade em tempo real.
Picking by vision		O operador veste o smart glass. O WMS envia as instruções para o operador. O smart glass informa de forma visual e sonora as instruções guiadas (baseado em Realidade Aumentada). A coleta é confirmada tocando em um botão virtual, fazendo um gesto ou por decodificação de código de barras no objeto coletado ou endereço especificado. (Spark, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo peso, ergonomia perfeita e múltiplos ajustes; 2. Os requisitos de infra-estrutura são mínimos; 3. 25% mais produtivo em comparação com picking baseado em terminais antigos de rádio-frequência; 4. Funciona com grande eficiência também em operações de entradas, armazenagem, reabastecimento, transferências, embalagem e inventário.
Tecnologia de armazenagem		Função	Benefícios
Miniload		Sistema padrão de armazenagem automática para caixas ou bandejas que integra em um único produto as estantes, as máquinas e o software de gestão do armazém. É formado por um corredor central por onde circula um transelevador e por duas estantes situadas em ambos os lados para armazenar caixas ou bandejas. (Mecalux, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Automação das operações de entrada e saída dos produtos; 2. Inventário permanente; 3. Eliminação dos erros derivados da gestão manual do armazém; 4. Elevado rendimento do espaço disponível; 5. Máxima comodidade e facilidade de acesso as caixas armazenadas.
Transelevador		O Transelevador realiza a movimentação e armazenagem automática das cargas e produtos paletizados, por meio de software. Suas funções permitem a execução das operações de entrada e saída do armazém em uma mesma programação de ciclos combinados. (Longa, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Otimização dos espaços disponíveis para armazenagem; 2. Redução dos custos operacionais diretos; 3. Redução da necessidade de operadores, paleteiras, empilhadeiras e de estruturas de informática, coletores e afins; 4. Redução dos custos de consumo de energia e iluminação;
Pallet Shuttle		Mediante este sistema de armazém automático, múltiplas cargas se posicionam umas atrás das outras em canais sobre trilhos e são armazenadas e extraídas da estante. (Ulma, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flexibilidade; 2. Projeto leve e econômico (menos consumo de energia); 3. Velocidade; 4. Fiabilidade; 5. Armazenamento compacto.
AutoStore		Sistema Goods-to-Person que usa caixas para armazenar produtos empilhados em um grid. Os robôs de recuperação se movem sobre o grid e recolhem as caixas de um topo aberto. Para recuperar uma caixa, um robô retira e acumula umas caixas sobre outras no topo do sistema até chegar na posição da caixa requerida, isso funciona como se estivesse escavando. (Bastian Solutions, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altíssima densidade de armazenagem; 2. Segurança do inventário; 3. Redundância: uso de vários robôs elimina ponto único de falha; 4. Alta velocidade de processamento; 5. Expansibilidade.
Vertical Lift Module (VLM)		O armazém vertical pode ser comparado a um armário de gavetas de grande porte com duas fileiras de bandejas - uma na frente e outra atrás. Entre as duas fileiras está localizado um elevador, que puxa as bandejas e as transporta individualmente para a posição correta da abertura de acesso, permitindo ao separador realizar a operação de picking com o mais alto nível de precisão. (Ssi-schaefer, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Redução de até 90 % da área de armazenagem; 2. Redução dos trajetos percorridos em mais de 70%; 3. Eliminação de erros na separação de pedidos; 4. Fácil integração com os processos já existentes; 5. Interface intuitiva com painel touch screen.
Carrosséis verticais e horizontais		Os sistemas de armazenagem do tipo carrossel são formados por um conjunto de estantes com prateleiras que se deslocam de forma horizontal até os postos de trabalho. Serve para diversas aplicações e permite o armazenamento de diversos produtos como caixas, roupas, pneus, rolos, entre outros. (Fabrimetal, 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumenta a velocidade do comissionamento de seis a dez vezes; 2. Reduz significativamente o espaço de armazenagem se comparado aos sistemas tradicionais; 3. Reduz custos de energia para equipamentos como empilhadeiras, por ter um design extremamente compacto; 4. Otimiza até 90% do espaço de armazenagem se equiparado com sistemas de armazenagem estáticos;

Fonte: Autor, 2021

3.3.12 Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) para integração de sistemas

A Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) pode ser explicada por meio de duas diferentes dimensões. De uma perspectiva de negócios, representada por um conjunto de serviços que melhoram a capacidade da empresa em conduzir negócios com clientes e fornecedores. E a partir de uma perspectiva da tecnologia, é uma filosofia de projeto caracterizada pela modularidade, separação de interesses, reutilização de serviços e composição, bem como uma nova programação baseada em método.

De acordo com a IBM (2021), SOA (*Service-Oriented Architecture*), ou arquitetura orientada a serviços, define uma maneira de tornar os componentes de software reutilizáveis por meio de interfaces de serviço. Essas interfaces empregam padrões de comunicação comuns de tal modo que eles podem ser rapidamente incorporados a novos aplicativos sem a necessidade de realizar uma integração sempre.

A SOA oferece benefícios significativos para a empresa:

- a) Maior agilidade dos negócios, tempo de comercialização mais rápido: A eficiência de montar aplicativos a partir de interfaces de serviço reutilizáveis, em vez de reescrever e reintegrar a cada novo projeto de desenvolvimento, possibilita que os desenvolvedores desenvolvam aplicativos muito mais rapidamente em resposta às novas oportunidades de negócios.
- b) Capacidade de potencializar a funcionalidade legada em novos mercados: Uma SOA bem elaborada possibilita que os desenvolvedores facilmente peguem uma funcionalidade 'bloqueada' em uma plataforma ou ambiente de computação e a estendam a novos ambientes e mercados.
- c) Melhor colaboração entre negócios e TI: Em uma SOA, os serviços podem ser definidos em termos de negócio. Isso possibilita que os analistas de negócios trabalhem de forma mais eficaz com os desenvolvedores em insights importantes, como o escopo de um processo de negócios definido por um serviço ou as implicações aos negócios devido à mudança de um processo que pode levar a um melhor resultado.

A tecnologia de Web Services constitui o principal veículo para arquiteturas orientadas a serviços. Para *World Wide Web Consortium – W3C* (2021) o Web Service é definido como “um sistema de software projetado para oferecer suporte à interação máquina-a-máquina interoperável em uma rede”. Possui uma interface descrita em um formato de processo de

máquina que informa o que o serviço faz e como chamar suas funções. Basicamente, as funcionalidades de entrega on-line dos Web Services (chamadas de serviços) oferecem interfaces simples de entrada e saída, abrigando sua estrutura interna e linguagem de programação que pode ser usada por outro serviço da Web, aplicativo de software ou máquina, bem como humanos.

Essas condições de interoperabilidade proporcionam às plataformas de gestão de armazéns, flexibilidade para cadastrar, integrar sistemas legados e menor tempo de resposta no desenvolvimento. Para logística 4.0, essa aplicação permite também que os processos conectados via tecnologias IoT, controlem o fluxo de mercadorias com o uso da internet em qualquer lugar do mundo, oferecendo acesso às informações para monitoramento e tomada de decisões.

Logo, as funções da SOA que permitem a reutilização de interfaces para tornar o desenvolvimento de aplicativos e plataformas mais rápidos, adaptabilidade e colaboração a novos negócios, traz uma característica relevante para o desenvolvimento de armazéns inteligentes, a escalabilidade. Além de assumir uma condição generalizável, partindo do princípio que a arquitetura é capaz de operar, funcionar ou atuar com outros recursos em rede.

3.3.13 Computação na nuvem e na borda

De acordo com Mosco (2017), a computação em nuvem é definida como “um sistema que move dados armazenados em computadores individuais e nos departamentos de Tecnologia da Informação (TI) das instituições para grandes *data centers* distantes operados por empresas que cobram pelo armazenamento e uso”.

A *United Nations Conference on Trade and Development*, ou, em português, Conferência das Nações Unidas para o Comércio e Desenvolvimento - UNCTAD (2019) destaca a utilidade da computação em nuvem para empresas estabelecidas em países onde o custo do licenciamento de software é proibitivo. Além disso, aplicativos de escritório “gratuitos” são importantes para micro, pequenas e médias empresas. A difusão da computação em nuvem remove gargalos da difusão das tecnologias digitais.

Coyle e Nguyen (2019), afirmam que, as organizações desejosas de utilizar soluções de inteligência artificial não precisam investir capital em sistemas próprios dedicados e inflexíveis. Elas podem consumir estes serviços de forma elástica, sob demanda. Isso não só otimiza custos e elimina desperdícios na economia como um todo, como elimina barreiras à entrada de técnicas avançadas de produção, como a inteligência artificial e a automação robótica de processos.

A computação na nuvem tem o potencial para alavancar as interações entre os elos da cadeia de suprimentos de forma mais fácil, rápida e barata que outras tecnologias, com possibilidades de compartilhamento de dados e colaboração entre os membros (CAO et al., 2017).

Embora esses benefícios sejam significativos, a intenção de adoção do conceito esbarra nos obstáculos que ele ainda apresenta às organizações. Birje et al. (2017) e Cao et al. (2017) apontam que, ainda hoje, um dos principais obstáculos para convencer as empresas a adotar a computação na nuvem se refere à preocupação com a segurança de dados, tema apresentado no próximo tópico sobre cibersegurança.

A IBM (2021) destaca também que, enviar todos esses dados gerados por dispositivo para um *data center* centralizado ou para a *cloud* causa problemas de largura de banda e latência. A computação de borda oferece uma alternativa mais eficiente: os dados são processados e analisados mais perto de onde foram criados. Como os dados não atravessam uma rede para serem enviados a uma *cloud* ou a um *data center* para o processamento, a latência é significativamente reduzida.

Ainda de acordo com a IBM (2021), a computação de borda é um modelo de computação distribuída que aproxima os aplicativos corporativos das fontes de dados, como dispositivos de IoT ou servidores de borda local. Essa proximidade com os dados em sua fonte pode gerar grandes benefícios de negócios: *insights* mais rápidos, tempos de resposta melhores e disponibilidade de largura de banda aprimorada.

Já para a HPE (2021), a computação de borda permite que as empresas monitorem de perto a eficiência de equipamentos e linhas de produção e, em alguns casos, detectem falhas antes que elas aconteçam, ajudando a evitar atrasos dispendiosos por conta de paralisações.

Dirigindo para o contexto dos armazéns inteligentes, a computação na borda permite antecipar a taxa de ocupação dos estoques, assim como a disponibilidade dos recursos de separação de mercadorias, criação de rota ótima mediante atualização de pedidos, além da consolidação instantânea desses dados de operação para análises estratégicas que podem ser enviadas para nuvem.

3.3.14 Cibersegurança

Novas soluções tecnológicas sempre carregam vulnerabilidades de segurança, que na maioria das vezes revelam riscos inesperados. Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão que acompanham o setor 4.0, a necessidade de proteger

sistemas industriais e linhas de fabricação críticas contra ameaças de segurança cibernética aumenta dramaticamente (STEFANIUK, 2016).

Sarder e Haschak (2019) definem o termo cibersegurança como a capacidade de impedir, de defender e de recuperar-se de interrupções causadas por ataques cibernéticos de adversários. Nesse contexto, a cibersegurança deve ser um dos principais focos dos governos e das empresas.

No campo dos processos logísticos, a vulnerabilidade das informações compartilhadas na cadeia de suprimentos é um elemento essencialmente importante para garantir que a comunicação transcorra sem interrupções, modificações ou perda de dados. Em um estudo sobre as principais fraquezas de segurança da informação em um processo logístico internacional, Shin et al. (2015) utilizaram os modais rodoviário, marítimo e aéreo, com auxílio de etiquetas de identificação eletrônica e sistema de reconhecimento de dados RFID. As principais fraquezas foram perda da proteção de dados, falha na preservação da privacidade, falsificação de senhas, vírus e cavalo de tróia nos dispositivos informatizados, administração inadequada, espionagem, ataques do tipo *man-in-the-middle*, rastreamento não autorizado, problemas de segurança de dados e de rede, ataque de negação de serviço (DoS), *sniffing*.

Portanto, reconhecimento de segurança, controle de acesso por meio de mecanismos de autenticação, processos criptográficos e análise comportamental são os mecanismos de segurança que podem ajudar a impedir a invasão da cadeia de suprimentos (PEREIRA ET AL., 2017).

Nesse sentido, Sarder e Haschak (2019), menciona que as empresas devem investir na implantação de tecnologias de segurança, tais como sistemas de inteligência de segurança, governança avançada de identidade e acesso, automação, orquestração e aprendizado de máquina, uso extensivo de análises cibernéticas e análises de comportamento do usuário, implantação extensiva de tecnologias de criptografia e gerenciamento automatizado de políticas.

Nos armazéns inteligentes, com a adoção de projetos de conectividade e digitalização, muitos e diversos dispositivos estão sendo incorporados à rotina de operação, como sensores de movimentação e separação, sistemas de armazenamento inteligentes, câmeras de segurança, AGV ou AMR, dentre muitos outros. Para que isto tudo trabalhe em colaboração, existem componentes de uma infraestrutura necessária. Alguns deles são as redes de computadores com fio e sem fio e serviços de computação.

Dessa forma, a Future (2021), destaca que um dos principais desafios nessas infraestruturas é a segurança de toda esta infraestrutura e rede conectada autônoma, pois os sensores e dispositivos conectam e se comunicam praticamente sem a intervenção humana. Com isto, ela se torna um grande alvo para hackers e criminosos que buscam roubar dados ou até mesmo provocar a paralisação parcial ou total do serviço e, tudo isto, sem que ninguém perceba.

Ainda a Future (2021), complementa que uma forma de minimizar os problemas futuros de segurança é adotar desde a concepção do projeto uma metodologia de *Security by Design*, ou seja, se preocupar com segurança desde a escolha dos dispositivos, do que será conectado e como. Quando a proteção e a segurança não são nativas, é necessário aplicar uma camada ou tecnologia para fazer a gestão da segurança daquele ambiente, minimizando assim as possíveis ameaças. A segurança em um ambiente de IoT não está restrita apenas à rede, dispositivos ou sensores, mas sim em todos os elementos envolvidos para que o projeto ou serviço funcione de forma adequada.

3.3.15 RPA (Robotic Process Automation)

RPA é um termo abrangente que combina robótica e automação de processos de negócios. A tecnologia consiste em licenças de software (os chamados *bots*) que imitam o comportamento humano e ações para automatizar o trabalho, ou seja, processos de negócios repetitivos, convencionais e baseados em regras (HOFMANN et al., 2020; SYED et al., 2020).

Os *bots* fazem login em sistemas de TI ou na Internet e iniciam aplicativos de *back-office* para copiar, extrair, processar e inserir dados estruturados ou semiestruturados, realizar cálculos e enviar e-mails (HUANG e VASARHELYI, 2019; SYED et al., 2020).

Na logística, o RPA também é utilizado para automatizar tarefas repetitivas, burocráticas, cansativas e que estão sujeitas a erros. Assim, o fluxo de informações se torna mais dinâmico, o que ajuda a eliminar gargalos operacionais, como alimentação de sistemas, integração de softwares distintos, bem como a comunicação entre eles.

No armazém, essa tecnologia apoia na otimização dos processos de endereçamento, busca de materiais, agilidade e confiabilidade nos processos de *picking* e expedição. O RPA ainda ajuda a gerar previsibilidade e padronização das operações. Isso ocorre porque na implementação desses sistemas, o mapeamento do fluxo de materiais e informações é uma etapa crucial, que permite aos gestores identificarem as atividades que são necessárias, mas não agregam valor, chamadas de incidentais, definindo assim a sua automatização.

Com a otimização proporcionada pela automação dos processos, as empresas conseguem reduzir os desperdícios e conseqüentemente os custos das operações logísticas. Portanto, as implementações de RPA bem-sucedidas aumentam a competitividade devido à considerável economia de custo e tempo (KOKINA e BLANCHETTE, 2019; LACITY e WILLCOCKS, 2021; VIALE e ZOUARI, 2020).

3.3.16 *Big Data Analytics*

Dentre as várias tecnologias habilitadoras mencionadas que suportam a transformação dos armazéns inteligentes, o *Big Data*, tem sido evidenciado, em termos de gestão estratégica de logística em serviço, como um importante aliado na mineração, classificação e filtro do volume de informações que são transacionados e armazenados nos sistemas de suporte aos processos logísticos.

Este expressivo volume de dados gerados, quando excede a capacidade das tecnologias tradicionais de armazenar, gerenciar e processá-los de maneira eficiente, e, também expressa características como velocidade, valor, veracidade e variedade, é denominado *Big Data*. Corroborando, Chen et al. (2012) afirmam que o termo *Big Data* representa o volume de dados cuja quantidade é muito maior que uma base de dados padrão com uma capacidade de análise, armazenagem e gestão em tempo real.

Não obstante, Sanders (2016) acrescenta que a combinação de *Big Data* com as ferramentas estatísticas de *Analytics* faz com que ambos tenham um valor agregado para as tomadas de decisões estratégicas. Na visão de Benke (2017) a preocupação ao realizar uma análise através de ferramentas de *Big Data Analytics* (BDA) não é a da qualidade dos dados, mas sim de que os mesmos sirvam de amostragem para responder um problema ou uma hipótese.

Ainda Sanders (2016), afirma que o BDA sem o *Analytics* é um conjunto massivo de dados e, *Analytics* sem o *Big Data* são simplesmente ferramentas e aplicações da matemática e estatística. Para Ittman (2015), o *Big Data* e a análise desses dados são as duas grandes tendências inevitáveis para os gestores logísticos.

Chen e Zhang (2014), revelam que as técnicas de *Big Data Analytics* envolvem diferentes tipos de conceitos, como estatística, *data mining*, abordagens de visualização de dados e *machine learning*. Vide abaixo cada tópico:

a) Métodos de otimização: Focado em resolução de problemas quantitativos. Como *Big Data* é uma base de dados em constante atualização, os modelos de otimização precisam ser

atualizados em tempo real, levando a um tempo de processamento de dados muito alto, assim como o consumo de memória computacional. Por isso, ao realizar métodos de otimização, espera-se que haja previamente uma análise de paralelismo de dados ou alguma forma de clusterizar e categorizar dados conforme sua natureza;

b) Método estatístico: Método utilizado para encontrar e calcular a correlação de variáveis independentes entre dados. Porém, Chen e Zhang (2014) observaram que simples análises de estatística multivariável como análises de regressão e correlação não são suficientes para análise de volume massivo de dados como *Big Data*, sendo necessária utilização de ferramentas mais avançadas como estatística computacional e aprendizado estatístico;

c) *Machine Learning* (análise cognitiva): Método que envolve tecnologia de inteligência artificial que trata o desenho de algoritmos e suas evoluções de acordo com a alimentação e retroalimentação de dados, levando em consideração tanto o auto-aprendizado da máquina como o aprendizado assistido (semiautomático);

d) Redes neurais: Utilização de redes para captura de padrões em dados, análises de imagens para previsões estatísticas, classificação de dados e otimização de resultados de análises de dados. Porém, a aplicação em *Big Data* exige uma rede muito maior devido ao volume de dados, fazendo com que haja limitações de tempo e performance computacional para as análises de dados, necessitando a redução da base de dados analisada ou agrupamento de dados para análise categorizada;

e) Métodos de visualização: Utilização de ferramentas com foco em visualização gráfica dos dados. Na aplicação em *Big Data*, as próprias ferramentas possuem mecanismos de redução dos dados no momento do carregamento de dados massivos para gerar resultados em um tempo mais hábil para tomadas de decisão. Exige a necessidade de seleção de dados para obtenção dos melhores resultados de análise;

Portanto, como o rápido avanço do *e-commerce*, conseqüentemente da concorrência acirrada, o tratamento de dados nos processos logísticos, torna-se um diferencial, para atrair novos compradores e aumentar a fidelidade dos consumidores, não apenas com os produtos em si, mas também com o serviço de entrega.

O *Big Data Analytics* pode auxiliar na otimização por meio de sistemas de gerenciamento de armazém, que por sua vez reúne informações essenciais sobre recebimento, separação, localização de mercadorias e o próprio inventário. Hu et al. (2016) destaca que somente quando os varejistas *on-line* tiverem o amplo domínio do controle da qualidade da

logística em serviço, eles estarão aptos para oferecer opções estratégicas de logísticas em serviços aos clientes.

3.4 Arquiteturas de Armazéns Inteligentes

De acordo com Simpson (2017), a arquitetura é figuradamente a elaboração de um empreendimento futuro; plano, projeto. No contexto desse trabalho a arquitetura é voltada para a conjuntura de modernização de armazéns, portanto, configura-se como uma concepção de um combinado de princípios, requisitos e orquestrações de tecnologias aplicadas em movimentação e acondicionamento de materiais, de modo a organizar recursos, pessoas e espaços na criação ambientes de inteligentes.

Esse combinado de recursos na conjuntura Industrial 4.0, pode ser representado por uma modernização de processos no setor logístico, visando a busca constante pelo aumento do desempenho, utilizando principalmente as diversas tecnologias habilitadoras que lhe sustentam. Para Hermann et al. (2016), os principais pilares da Indústria 4.0 são: a Internet das Coisas suportada pelos SCFs, e representados na manufatura como elementos da produção como robôs, máquinas e demais dispositivos que ganham habilidades de conectividade e comunicação.

Esses SCFs são integrados a sensores inteligentes gerando *big data* apoiada por inteligência artificial (IA) capazes de gerar tomadas de decisão mais assertivas utilizando uma maciça quantidade de dados, tendo como principal benefício, analisar e tirar conclusões em tempo real, além de oferecer previsões para melhorar desempenho ou prever falhas de máquinas ou processos.

A automação autônoma, por sua vez, contribui com robôs que não precisam ser precisamente programados. Graças à IA, eles podem aprender e aprimorar seus procedimentos sem muita interferência humana (JAHN et al., 2018). A logística obviamente foi fortemente impactada por essas mudanças. Se antes era comum manter grandes estoques e correr o risco de sofrer grandes perdas por conta dos prazos de validade e dificuldades de armazenamento, agora é fundamental aplicar a gestão inteligente de estoques.

É nesse contexto que se apresenta a logística 4.0 ou logística inteligente, como uma evolução da logística tradicional, em sinergia à indústria 4.0, que traz em seu conceito a aplicação de tecnologias de informação de alto poder de impacto em toda a cadeia de suprimentos. Para Galindo (2016), trata-se de um sistema logístico que visa melhorar a flexibilidade, se adaptar às mudanças do mercado e aproximar as empresas das necessidades

dos clientes, permitindo melhorar o nível de atendimento e reduzir os custos de armazenamento e de produção.

A arquitetura de armazém inteligente proposta neste trabalho de pesquisa para uma logística 4.0 considera, como sugerido por Harrison et al. (2016) e Orellana e Torres (2019), quatro requisitos principais: os dispositivos que compõem o sistema, a conectividade entre esses dispositivos visando à integração, a possibilidade de o hardware ser integrado digitalmente por uma arquitetura lógica comum e interoperável estendida à comunicação dos sistemas e, por fim, o ambiente digitalizado apto à integração com outros sistemas.

Para atender os requisitos levantados, necessitou-se um aprofundamento na abordagem voltada a visão baseada em recursos (VBR), comumente usada para identificar os recursos valiosos, raros, inimitáveis e insubstituíveis de uma empresa que podem gerar vantagem competitiva, como capital físico, humano e organizacional (BARNEY, 1991; BARNEY, 2001; RAI, et al., 2006). Com base na VBR, a perspectiva de orquestração de recursos foi proposta por Sirmon et al. (2011) para entender como uma empresa ganha vantagem competitiva ao organizar dinamicamente seus recursos.

Existem três tipos de ações de orquestração de recursos: estruturação, agrupamento e alavancagem (SIRMON et al., 2011). A estruturação envolve o desenvolvimento de um portfólio de recursos por meio da aquisição, acumulação e desinvestimento de recursos; agrupamento refere-se ao uso de recursos para construir capacidades (isto é, estabilização, enriquecimento e pioneirismo); e a alavancagem se concentra na criação de valor por meio da mobilização, coordenação e distribuição de recursos.

Segundo Zhang et al. (2021), existem duas correntes principais de pesquisa sobre orquestração de recursos. Uma das correntes concentra-se no impacto da orquestração de recursos nos resultados, como desempenho (por exemplo, CHAN et al., 2011; NDOFOR et al., 2011; WALES et al., 2013), inovação (por exemplo, CARNES et al. al., 2017; CUI et al., 2017) e criação de valor (por exemplo, WANG et al., 2012). O outro fluxo busca identificar ações focadas em recursos em diferentes contextos (BAERT et al., 2016; CUI et al., 2017; PAN et al., 2020), por exemplo, Cui et al. (2019) analisou o desenvolvimento do comércio eletrônico na China rural e observou que os recursos de conhecimento do produto e plataformas de tecnologia foram orquestrados para desenvolver capacidades individuais e comunitárias no comércio eletrônico.

A perspectiva de orquestração de recursos também é apropriada para estudar centros de realização de comércio eletrônico porque os armazéns foram considerados uma combinação de

processos e recursos (KARAGIANNAKI et al., 2011). Tem sido argumentado que o desempenho do gerenciamento de armazéns depende se os recursos são orquestrados de maneira oportuna, completa e confiável (FABER et al., 2013).

Sendo assim, diante dos conceitos apresentados, o presente trabalho apresentará uma arquitetura de orquestração de tecnologias habilitadoras da logística 4.0 para melhorar o desempenho dos processos de recebimento, armazenamento, separação e expedição, constituindo dessa forma, o conceito de armazém inteligente.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

O presente capítulo tem como finalidade apresentar a metodologia empregada para alcançar os objetivos da pesquisa científica. Pretende-se a partir da aplicação das técnicas de pesquisa, entender como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem auxiliar os processos logísticos dos armazéns inteligentes.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a Pesquisa Científica visa conhecer cientificamente um ou mais aspectos de determinado assunto. Para tanto, deve ser sistemática, metódica e crítica. O produto da pesquisa científica deve contribuir para o avanço do conhecimento humano acerca de determinado assunto.

Para Lakatos e Marconi (2010), os trabalhos científicos devem ser elaborados de acordo com normas preestabelecidas e com os fins a que se destinam. Devem ainda ser inéditos ou originais e contribuir, não só para a aplicação de conhecimentos ou a compreensão de certos problemas, mas também servir de modelo ou oferecer subsídios para outros trabalhos.

Já Gil (2002) menciona que a pesquisa científica busca respostas a problemas definidos que não possuem informações suficientes ou quando as informações disponíveis não estão diretamente relacionadas ao problema proposto.

4.1 Metodologia

Inicialmente, para estabelecer o desenvolvimento da pesquisa, definiu-se os seus métodos de construção. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), os tipos de pesquisa podem desdobrar-se em uma análise quanto à natureza do problema, quanto à abordagem, quanto aos objetivos da pesquisa e quanto aos procedimentos metodológicos, vide Figura 16 com suas respectivas classificações.

Desta forma, este trabalho está ancorado como uma pesquisa de natureza aplicada, já que, segundo Gil (2008), as pesquisas com esse tipo de natureza estão voltadas para a aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial, relevando o desenvolvimento de teorias.

Quanto à abordagem, a pesquisa enquadra-se como qualitativa e quantitativa. De acordo com Creswell (2007), ao verificar um problema seguindo a elaboração de uma teoria e de variáveis estatísticas, usa-se o método quantitativo. Já os métodos qualitativos se ocupam de variáveis que não podem ser medidas, apenas observadas. Para este estudo, utilizou-se das duas abordagens para alcance dos objetivos.

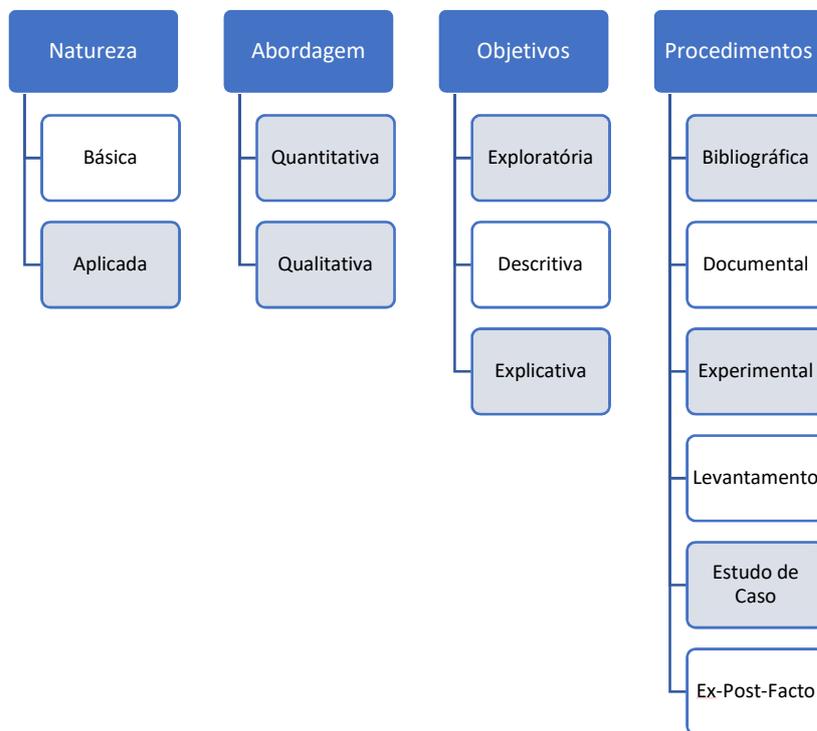
Sob o ponto de vista dos objetivos, esta dissertação classifica-se como exploratória, uma vez que visa orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV e FREITAS, 2013). Além disso, torna-se explicativa, pois visa a identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos; “aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas.” (GIL, 2010).

Tratando-se dos procedimentos, a pesquisa classificou-se em três tipos: bibliográfica, experimental e estudo de caso. A bibliográfica distingue-se pela busca de conhecimentos teóricos existentes e amplo levantamento bibliográfico com o objetivo de compreender os fenômenos estudados (MARCONI; LAKATOS, 2013; KÖCHER, 2011). Nesta pesquisa, o levantamento bibliográfico sobre os temas relacionados ao desenvolvimento de armazéns inteligentes por meio de tecnologias habilitadoras objetiva investigar informações sobre problemas já estudados e soluções para a melhoria no sistema logísticos existente na empresa alvo do estudo.

Caracteriza-se experimental, uma vez que manipula diretamente variáveis relacionadas com o objeto de estudo. Nesse tipo de pesquisa, a manipulação das variáveis proporciona o estudo da relação entre as causas e os efeitos de determinado fenômeno (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Finalmente, este trabalho, pode também ser classificado como um estudo de caso, conforme o autor Yin (2001), pois trata-se de uma observação direta de fenômenos aplicados a um contexto ou acontecimento, permitindo analisar de forma profunda e exaustiva os eventos relacionados ao objetivo de investigação para ampliar e expandir o conhecimento.

Figura 16. Resumo sintético da classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013)

Diante da classificação da pesquisa apresentada, esta dissertação, proporcionou uma investigação científica a partir de um projeto de pesquisa real que será detalhado no capítulo 5,

Comprovação do conceito.

Segundo Ciribelli (2003), a investigação científica pode ser definida como um conjunto de etapas e instrumentos pelo qual o pesquisador direciona seu projeto de trabalho com critérios de caráter científico para alcançar dados que suportam ou não sua teoria inicial.

4.2 Etapas para o desenvolvimento da Arquitetura

Assim, diante da pesquisa no estado da arte sobre o tema em questão, seguiu-se de uma avaliação das necessidades e oportunidades de melhoria no ambiente logístico tradicional de armazenagem de materiais, como: excesso de movimentação, contrafluxos, restrições de mobilidade interna, ausência de dispositivos a prova de erros, baixa flexibilidade, retrabalhos, estoque em processo, má utilização do capital humano, falta de sinalização, centralização das informações em determinados funcionários, falta de padronização, dentre outras ineficiências.

Fundamentado nas necessidades implicadas nas operações logísticas, foram definidos requisitos e funções que deveriam ser desempenhadas para se obter uma arquitetura modular e flexível. O desenvolvimento da arquitetura baseou-se inicialmente no estudo de Lameche et al., (2017), no qual os autores sugerem quatro etapas: definir as funções do sistema, determinar as conexões entre elas, construir uma matriz para analisar essas conexões e, por fim, definir os módulos. Os módulos são conjuntos de funções com as mesmas características para atendimento de uma necessidade específica do sistema.

No entanto, durante o desenvolvimento, percebeu-se a necessidade de acrescentar a essa proposta, análises prévias baseadas em funções críticas do sistema, métodos para análise de dados e construção de cenários tecnológicos para validação de sistemas logísticos 4.0, ou seja, uma contribuição e evolução do estudo. A Figura 17, apresenta as etapas para concepção da arquitetura.

Figura 17. Etapas para construção da arquitetura lógica



Fonte: Autor, 2021

Posterior ao levantamento das necessidades, requisitos e funções do sistema, a fase de análise de dados dos processos atuais, oferece uma visão holística do fluxo de materiais e informações desde o início do ciclo logístico, o recebimento, até a expedição. Para isso, utiliza-se o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para identificar desperdícios como espera, estoques intermediários, retrabalhos, excesso de movimentação, dentre outras oportunidades.

Ao qualificar as ineficiências do sistema logístico, faz-se necessário quantificar os desperdícios da operação atual, logo, poderá ser aplicado um estudo de análise de valor agregado nos processos, no intuito de identificar o percentual efetivo de trabalho, desmembrar os desperdícios e destacar as áreas que restringem o fluxo logístico. Com o resultado desse estudo espera-se ser possível destacar as atividades que podem ser eliminadas, mantidas e reduzidas, no intuito de balancear os recursos envolvidos e estabilizar as funções críticas do ambiente logístico em questão, antes mesmo de ponderar aplicações de soluções tecnológicas.

Mediante análise preliminar a respeito da eficiência dos processos logísticos e da priorização das ações nas áreas críticas da operação, pode-se levantar oportunidades que permitam melhorar o desempenho das operações críticas. Para tanto, constrói-se uma matriz morfológica (Apêndice 1) com o objetivo de identificar e combinar soluções para as funções do sistema logístico em estudo. Orienta-se na construção da matriz, a reunião de uma equipe

multidisciplinar para discutir alternativas e escolher com base nos critérios estabelecidos no projeto, a solução mais aderente às funções do sistema. Essa escolha também pode ser classificada com cores, neste exemplo do Quadro 8, para definir níveis tecnológicos pretendidos.

Quadro 8. Exemplo da matriz morfológica

Função N1		Função N2	Princípios de solução para cada função da síntese funcional		
			S1	S2	S3
F3	Conferir dados recebidos	Ler e conferir os documentos do entregador	  Contato Humano	   Leitura Digital	  Apresentar por câmeras
			   Leitura Facial	  Reconhecimento de digital	  Reconhecimento de Iris

Legenda:

 Low Tech	 Medium Tech	 High Tech	 Solução escolhida
--	---	---	---

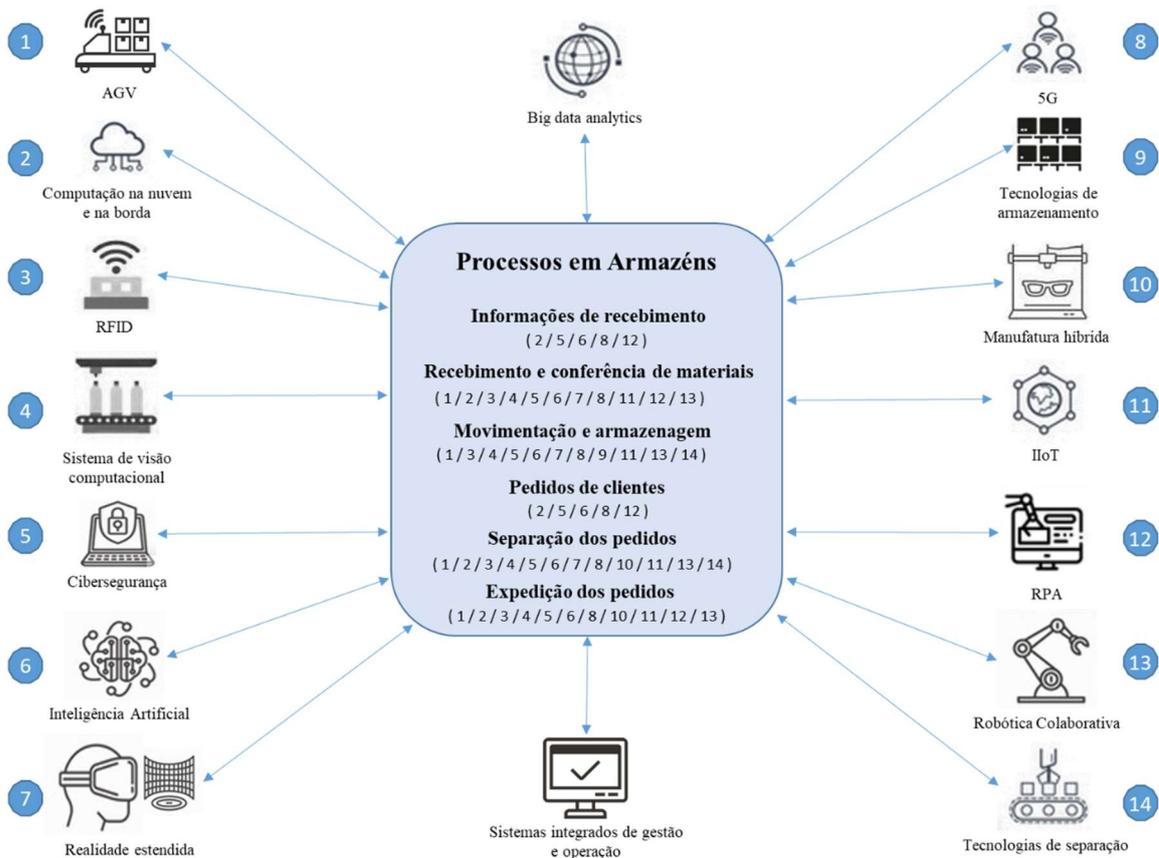
Fonte: Autor, 2022

Após a construção da matriz morfológica, torna-se possível assim, desenvolver uma matriz de priorização (Apêndice 2) para determinar quais fatores críticos, conforme requisitos levantados, que poderiam ser automatizadas ou agregadas inteligência para aumentar a produtividade, rastreabilidade e flexibilidade no armazém.

Essa sequência de métodos possibilita arquitetar rotas tecnológicas em níveis básicos, moderados e avançados, em termos de impacto, tendência e intenção de investimento. Os métodos propostos permitem também o levantamento e direcionamento de soluções 4.0 que contribuam em cada processo dentro do armazém, desde as informações de recebimento até a expedição dos pedidos.

Essa combinação pode ser conferida na Figura 18, na qual as tecnologias habilitadoras identificadas numericamente podem ser introduzidas aos processos dos armazéns, por exemplo, no pedido dos clientes pode-se utilizar soluções de computação na nuvem e na borda (2), Cibersegurança (5), Inteligência Artificial (6), 5G (8) e RPA (12). Os demais processos seguem a mesma lógica de convergência.

Figura 18. Combinação de tecnologias 4.0 para armazéns inteligentes



Fonte: Autor, 2021

A construção do sistema foi pensada, portanto, na integração de tecnologias e nas interações entre humano e máquina, de forma a promover um melhor desempenho do sistema, com a redução de desperdícios logísticos e economia de tempo. Objetiva-se, com a introdução da automação e inteligência nas operações de armazéns, que os processos se tornem menos dependentes e respondam adequadamente à variabilidade inerente ao trabalho humano.

De posse dessas rotas, modelos computacionais da operação logística tradicional foram concebidos em 3D (escala real) como estratégia para testar cenários, combinações de recursos, *layout* e melhor fluxo para atender às necessidades da operação. O desenvolvimento do modelo

computacional foi respaldado em algumas premissas, como: natureza do produto manipulado, restrições de investimento, orquestração dos recursos, espaço disponível, fluxo de processos obrigatórios, flexibilidade, além da frequência mínima de recebimento e expedição de uma operação real de movimentação e armazenagem de materiais.

4.3 Arquitetura

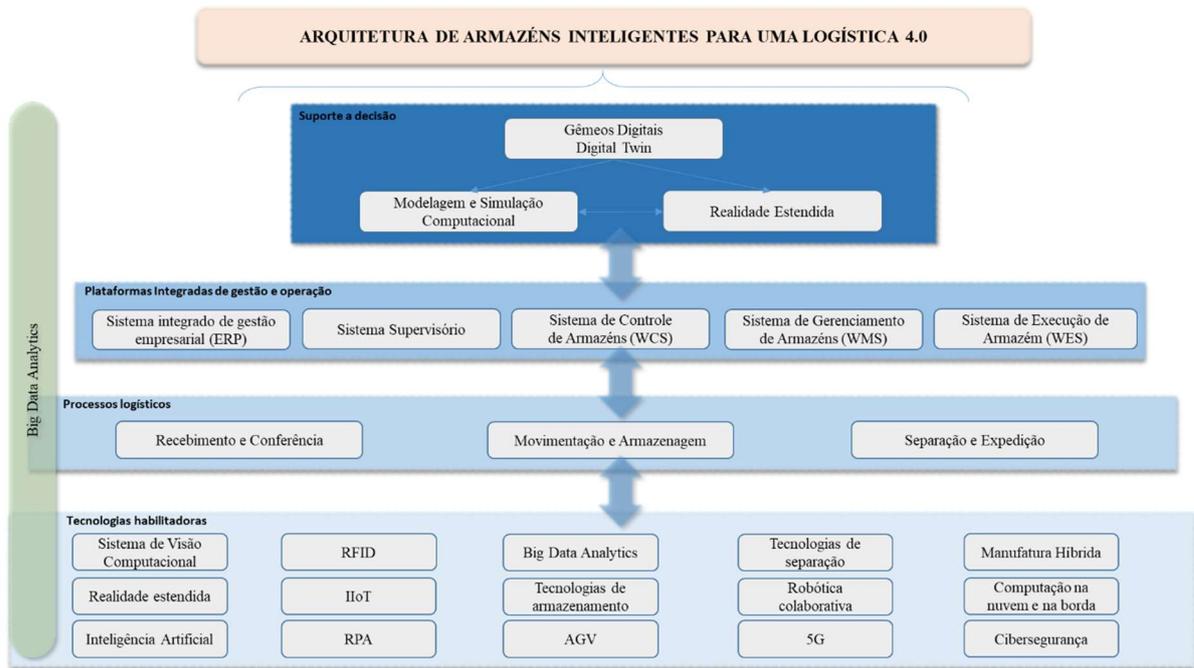
Diante desse estudo preliminar, e com o uso de ferramentas computacionais para auxiliar na tomada de decisões, a arquitetura é concebida por meio de uma visão geral entre a combinação dos módulos e funções do sistema. A Figura 19 apresenta a arquitetura proposta, com uma visão geral do sistema, sua estrutura lógica entre os módulos e as respectivas tecnologias habilitadoras mencionadas no referencial teórico.

Para orquestração dos módulos compostos das tecnologias, tornou-se necessária uma análise de viabilidade técnica para confirmação de requisitos levantados: estrutura de comunicação, arquitetura dos sistemas de automação, diagramas de conexão entre diferentes plataformas para integração das tecnologias, arquitetura da rede de comunicação, estrutura para armazenamento de dados, de forma que garanta monitoramento e rastreamento dos produtos, mínima intervenção humana e modularidade.

O propósito desse levantamento é reduzir riscos tecnológicos ao conectar soluções diferentes para atender as funções do sistema. A arquitetura direciona a uma transformação das operações logísticas tradicionais em uma logística 4.0, identificando as atividades mais repetitivas, retrabalhos, inflexibilidade, bem como aquelas que exigiam maior agilidade e segurança.

O primeiro módulo (Suporte a decisão) foi arquitetado com a finalidade de criar alternativas virtuais em cenários tecnológicos complexos de modo a avaliar combinações e comportamentos de processos e recursos por meio de simulação computacional auxiliado por tecnologias de realidade estendida, concebendo de tal modo um gêmeo digital como ferramenta de apoio à decisão. Assim, torna-se possível mitigar riscos de investimentos desnecessários, evitar desperdícios logísticos, avaliar capacidade de atendimento, identificar possíveis restrições ao processo, além de prever demanda e tendências, tudo isso, sem interromper a operação real. Esta abordagem permite a interação das partes interessadas com a virtualização da operação em tempo real e assim possibilitar melhorias das atividades de planejamento.

Figura 19. Arquitetura lógica proposta para armazéns inteligentes



Fonte: Autor, 2021

O segundo módulo (Plataformas integradas de gestão e operação) representa a infraestrutura de comunicação do conceito e de interface para os operadores. O ERP (*Enterprise Resource Planning*) interliga todos os dados e processos de uma organização em um único sistema, por meio deste, as informações de recebimento de matérias e pedidos são inicialmente tramitadas. O sistema supervisorio, não somente gerencia um banco de dados do sistema como também transaciona informações com os controladores dos SCFs que operam o sistema visando à operação integrada.

No banco de dados vinculado ao ERP serão armazenadas informações referentes ao processo logístico e financeiro. O banco de dados é a base do sistema interno, informações de fornecedores, clientes, mercado e historiadores de processo podem vir a ser agregados para análises preditivas. Os controladores dos diversos equipamentos e processos executam as rotinas determinadas pelo sistema supervisorio ou pela lógica estabelecida entre SCFs, incluindo a movimentação dos robôs colaborativos e autônomos, conforme a aplicação logística determina.

Ainda na escolha do tipo de plataforma de gestão e operação de armazéns, vale ressaltar que essa seleção depende dos níveis de autonomia e automação almejados. No entanto, a maioria exige um destes três sistemas: um sistema de gerenciamento de armazéns responsável

pelas operações e processos; um sistema de controle de armazém que orquestra o fluxo de atividades tecnológicas automatizadas; e um sistema de execução de armazéns, que é um híbrido dos dois.

No terceiro módulo (Processos logísticos) são apresentadas as etapas do processo logístico atendidas pelo sistema, que são focados no atendimento ao cliente, suportados pela estratégia de entregar o produto certo, na quantidade certa, no tempo certo, ao menor custo possível.

O quarto módulo (Tecnologias habilitadoras) apresenta a seleção das tecnologias habilitadoras do sistema para sua operação no nível físico. Elas representam também uma orquestração dos hardwares que se utilizam desses conceitos tecnológicos para exercerem suas funcionalidades no sistema. As tecnologias estão organizadas nas três etapas do processo logístico para que seja possível visualizar em qual etapa cada tecnologia foi implantada.

Transversal a esses quatro módulos, acompanha a análise e armazenamento de um grande volume de dados na nuvem, acessíveis a qualquer hora e em qualquer lugar para os envolvidos na tomada de decisões. Executar algoritmos inteligentes usando *Data Analytics*, oferece *datapoints* diários do armazém que habilitam tecnologias inteligentes utilizadas. Dados contínuos extraídos dessas tecnologias são fundamentais para o planejamento simultâneo e análises de cenários, cogentes para amparar a realização de operações nos armazéns e melhorar as capacidades de resolução de problemas.

A abordagem proposta para armazéns inteligentes habilita, pelo aprendizado contínuo que lhe é inerente, erradicar gradativamente esses obstáculos e evoluir sincronizada com as melhores tecnologias emergentes.

Decidir a combinação de tecnologias a ser utilizada, depende da análise minuciosa de variáveis como tamanho do armazém, dimensão das mercadorias, velocidade, quantidade de unidades de manutenção de estoque, requisitos de mão de obra para executar diferentes operações de forma eficiente. Todos esses podem variar significativamente, o que requer um estudo exclusivo. Uma solução única para todos os problemas simplesmente não funciona.

Frente aos desafios em implantar armazéns inteligentes, devido à inúmeras variáveis decisórias, a arquitetura propõe uma abordagem dividida em módulos para atender as funções do sistema. Logo, buscou-se mostrar por meio da arquitetura de armazéns inteligentes, uma estrutura física, integrada, generalizável e escalável baseada nas tecnologias habilitadoras.

5 COMPROVAÇÃO DO CONCEITO

No intuito de comprovar a metodologia, demonstrar os potenciais ganhos e a viabilidade técnica da arquitetura apresentada, foi desenvolvido um *testbed* fundamentado nos processos logísticos de uma empresa parceira, localizada em Joinville-SC. Esta empresa atua no segmento logístico suprindo as necessidades dos clientes com soluções de movimentação, armazenagem e transporte de produtos.

No que se refere ao desembaraço aduaneiro, a empresa operacionaliza o despacho e depois da liberação da mercadoria pelos órgãos anuentes, disponibiliza a seus clientes armazéns próprios e de parceiros para a consequente distribuição dos produtos, área em que a companhia conta com gestão especializada. A companhia, na condição de *Trading Company*, faz a intermediação de comércio exterior desenvolvendo todas as operações logísticas em âmbito nacional e internacional.

O armazém da empresa escolhido para comprovar o conceito, possui 740 m² e, aproximadamente, 10% dessa área foi destinada ao *testbed* (72 m²), conforme Figura 20.

Figura 20. Modelagem computacional do espaço reservado para construção do *testbed*

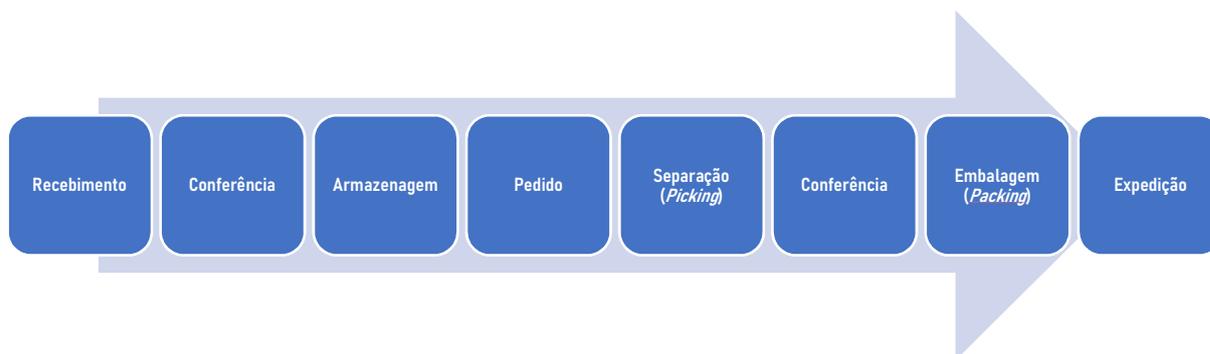


Fonte: Autor, 2021

O fluxograma de processo da operação do armazém é mostrado na Figura 21. Por questões de sigilo, não será possível descrever ou citar o produto manipulado. Contudo, vale destacar que a empresa está buscando aumentar sua participação em mercados peculiares sob o aspecto logístico. O armazenamento e a movimentação dessas categorias de produtos exigem cuidados especiais e têm uma dinâmica particular, o que eleva o nível de importância do projeto.

Como se trata de produtos com alto valor financeiro agregado, altamente suscetíveis a roubos, impõem requisitos de um elevado grau de segurança durante toda a manipulação e sua acomodação dentro do armazém. Tratam-se de produtos pequenos, no máximo 30 cm de comprimento, 22 cm de largura e 8 cm de altura, pesando até 2 kg, que podem custar entre R\$5.000,00 a R\$200.000,00.

Figura 21. Processos do armazém da empresa parceira



Fonte: Autor, 2021

O efetivo funcionamento do armazém pressupõe o cumprimento de certas etapas. No Quadro 9, são explicadas essas etapas e as respectivas dificuldades encontradas no mapeamento dos processos logísticos, conforme a Figura 21.

Dessa forma, percebendo que existia uma fragilidade no controle, na segurança, e na manipulação dos itens armazenados, frente às oportunidades mapeadas, a estratégia da empresa foi buscar a modernização de suas operações logísticas, o que implicou na necessidade de viabilizar uma solução inteligente para o desenvolvimento de uma infraestrutura que aproxime a empresa ao estado da arte, naquilo que concerne a logística 4.0.

Além das dificuldades mapeadas, outros fatores motivaram, especificamente a empresa, na busca por melhoria contínua da eficácia do processo logístico, dentre eles: (a) restrição de mobilidade interna - área armazenamento x área de movimentação; (b) necessidade de rapidez, flexibilidade e segurança nas atividades de *picking*; (c) elevado contra-fluxo nos processos de movimentação de materiais; (d) *double handling* dos materiais (retrabalho); (e) excesso de estoque em processo gerando excesso de manuseio de materiais; (f) tempo de resposta em cenários logísticos complexos; (g) problemas relacionados aos fluxos e layout no armazém; e (h) baixa confiabilidade do processo logístico. A Figura 22 retrata algumas das dificuldades mencionadas acima.

Quadro 9. Etapas do processo logístico e dificuldades encontradas

Etapas	Descrição	Dificuldades encontradas
Recebimento	Entrada de material no armazém sob forma de volumes contendo diversos itens. Estes serão recebidos e aceitos com base em documentação que informa a sua remessa.	Papelada excessiva; possibilidade de erros operacionais devido à alta interferência humana; manipulação excessiva dos materiais e dependência de operadores com longa experiência no processo.
Conferência	Desconsolidação da carga recebida em uma área restrita e conferência visual dos itens com base em documentação de remessa, que darão entrada no estoque.	Longo tempo de procura dos itens; conferência visual sem uso de dispositivos automáticos, papelada excessiva, desorganização das informações e movimentação excessiva.
Armazenamento	Transporte manual dos itens que foram identificados por meio de planilhas impressas para o estoque de produtos acabados.	Falta de sinalização dos endereços, intensa intervenção humana para armazenamento dos itens, movimentação excessiva, ausência de equipamentos apropriados para transportar os produtos, vulnerabilidade da segurança e demora na realização do inventário.
Pedido	Recebimento do pedido do cliente feito por e-mail para separação e envio dos produtos armazenados.	Falta de integração das plataformas de gestão empresarial e gestão de armazéns, falta de transparência e rastreabilidade dos itens disponíveis no estoque, e demora na transmissão das informações de separação para operação.
Separação (Picking)	Retirada manual dos itens de estoque de acordo com os pedidos feitos pelo cliente.	Ausência de dispositivos adequados para reduzir os erros na separação, falta de sinalização e confirmação dos itens retirados do estoque, intensa intervenção humana no processo e demora na identificação dos itens.
Conferência	Conferência da lista (impressa) de itens separados com os itens do pedido.	Inspeção visual realizada pelo operador para verificar a conformidade com o esperado e descrito na planilha.
Embalagem (Packaging)	Embalagem dos produtos separados e conferidos.	Padronização das embalagens conforme número de itens do pedido e movimentação excessiva para buscar as embalagens.
Expedição	Despacho das mercadorias para a empresa responsável pelo transporte.	Ausência de um dispositivo que compare as informações do pedido com os produtos separados e ausência de confirmação automática para o cliente a respeito dos pedidos prontos para serem coletados.

Fonte: Autor, 2021

Figura 22. Cenário inicial do armazém da empresa estudada



Fonte: Autor, 2021

Diante dos desafios apresentados, o SENAI CIMATEC foi acionado para o desenvolvimento de um projeto de pesquisa e inovação para concepção de um armazém inteligente que contemplasse soluções integradas e adequadas para o conjunto de problemas listados⁶.

O projeto foi subdividido em seis pacotes tecnológicos de entregas, a saber: (1) Memorial descritivo do estudo para definição das rotas tecnológicas no que tange a fronteira do conhecimento em Logística 4.0 com foco em armazéns inteligentes; (2) Pesquisa avançada para: identificação de tecnologias habilitadoras inerentes a indústria 4.0 para operações logísticas complexas, com definição de conceitos inovadores; (3) Modelo de simulação computacional com detalhamento da rota tecnológica definida para o armazém inteligente (*testbed*), contendo: tecnologias habilitadoras, integração de sistemas aos fluxos e recursos

⁶ O projeto também contou com o apoio da EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial), atuante na cooperação com instituições de pesquisa científica e tecnológica, públicas ou privadas, tendo como foco as demandas empresariais e como alvo o compartilhamento de risco na fase pré-competitiva da inovação.

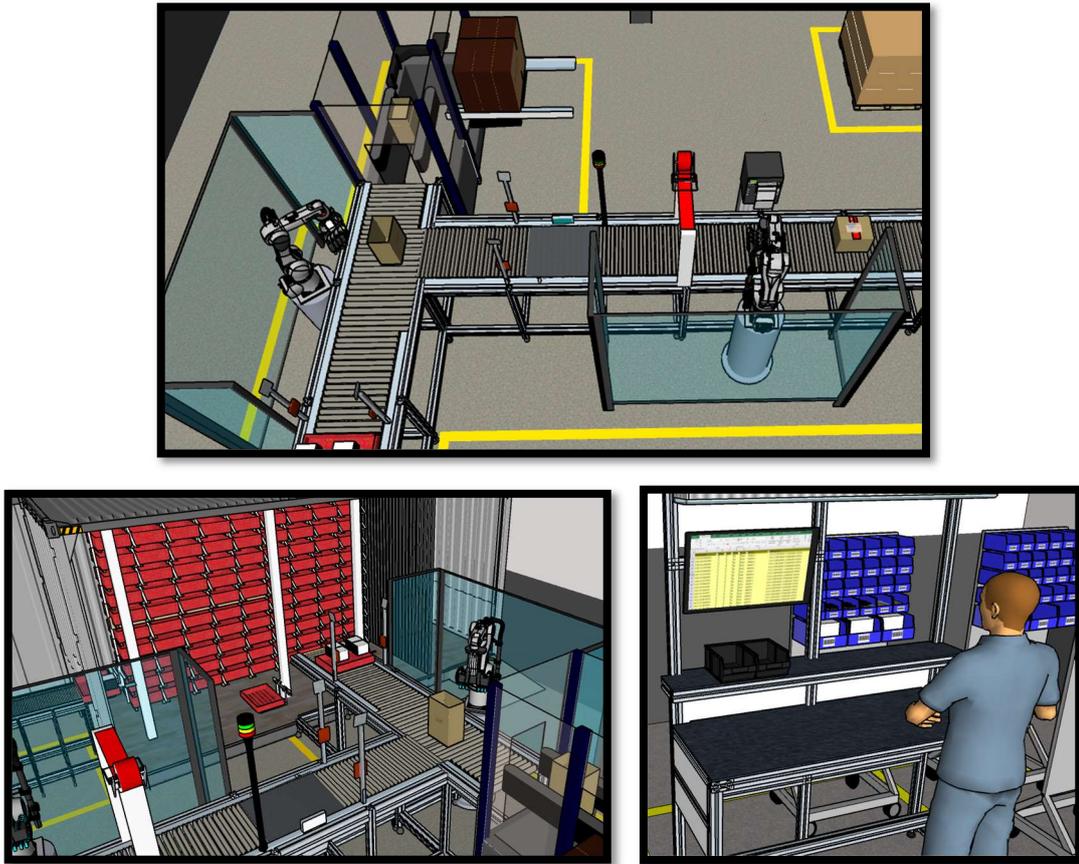
logísticos; (4) *Data book* detalhado do projeto detalhamento/dimensionamento dos hardwares, softwares, equipamentos, equipe, plano de ação de implantação curto, médio e longo prazo, e demais itens necessários para viabilização do protótipo; (5) Realização de piloto “*in loco*” para validação dos pontos críticos da rota tecnológica definida; (6) Acompanhamento assistido da operação piloto do novo conceito.

Assim, o SENAI CIMATEC reuniu profissionais das áreas de Logística, Automação e Software, para desenvolver e implantar, conforme apresentado no capítulo 4, a abordagem proposta. Todas as etapas da metodologia foram integralmente cumpridas para a definição da arquitetura mais adequada que viesse atender aos objetivos da empresa parceira.

Com o auxílio de softwares de desenho assistido por computador (CAD) e ferramentas de modelagem e simulação computacional, foram construídos cenários logísticos 4.0, para possibilitar a visualização e orquestração dos recursos tecnológicos no espaço designado ao projeto. O modelo 3D foi desenvolvido primeiramente no SketchUp (SKETCHUP, 2021), um software CAD que permite a criação de ambientes e objetos em 3D, conforme visto na Figura 23. Os ambientes foram arquitetados baseados na avaliação e priorização de soluções tecnológicas já identificadas anteriormente.

Após avaliação dos modelos 3D no Sketchup, foi elaborada uma simulação computacional de eventos discretos, com a finalidade de transformar o modelo estático em um modelo dinâmico. Essa análise é apropriada para que sejam identificados gargalos, tempos de operação, capacidade de processamento de pedidos, interação entre homem e máquina, bem como o comportamento geral do dimensionamento do sistema logístico proposto. Logo, compreende-se esta etapa de modelagem e simulação como uma importante ferramenta dentro de um projeto de inovação.

Figura 23. Construção de modelos computacionais 3D da rota tecnológica logística



Fonte: Autor, 2021

Chwif e Medina (2010) afirmam que a simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos computacionais, por meio dos quais se pode responder a perguntas do tipo “o que o aconteceria se”, tornando-se assim uma poderosa ferramenta de apoio à tomada de decisão.

A modelagem e simulação computacional representa as diversas interações entre as entidades de um sistema, produzindo comportamentos passíveis de análises e elaborações conjecturais. Inicialmente, o modelo pretende comportar-se da forma mais próxima possível da realidade ou do projeto ao qual está conectado, a fim de que seu comportamento possa dar subsídio a decisões a serem implementadas.

Assim, para que sejam extraídas as análises do modelo, faz-se necessário gerir experimentações com ele. É preciso simular cenários para que se possa entender o comportamento do sistema modelado sob determinadas variáveis, antes de ser materializado. O sequenciamento de etapas sucessivas adotado no projeto seguiu o esquema apresentado na Figura 24:

Figura 24. Fases do projeto de modelagem e simulação computacional



Fonte: FlexSim, 2021

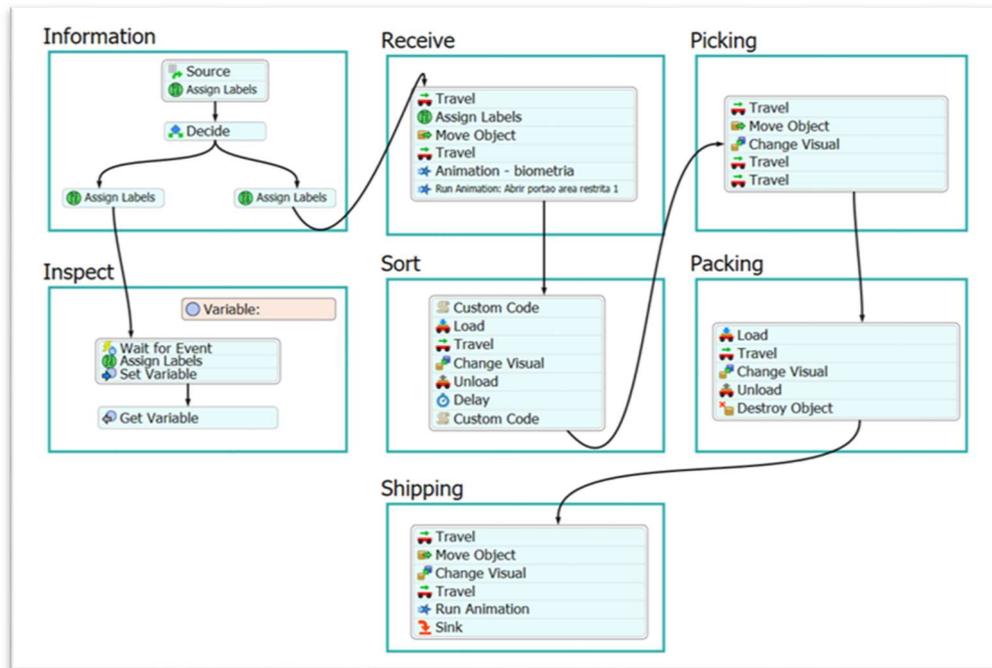
A lógica da modelagem ou a inteligência do modelo computacional, foi desenvolvida no software FlexSim (2021), utilizando o módulo *ProcessFlow*. O *ProcessFlow* possui uma variedade de blocos de atividades e, na medida em que o fluxograma do processo é construído no software, pode-se desenvolver lógicas dentro de cada bloco e relacioná-las ao modelo 3D.

Os parâmetros de tempo foram calculados por meio do método de observação e cronoanálise, investigando as atividades da operação tradicional do armazém e registrando o tempo de cada atividade com a utilização de um cronômetro, obtendo-se as médias e os desvios-padrão. Esses valores foram inseridos no modelo como uma distribuição estatística normal. Já as informações de velocidade da operação de cada equipamento, foram adquiridas por meio dos *datasheets* dos equipamentos selecionados para compor o *testbed*.

A lógica da operação do armazém foi organizada em processos para facilitar o acompanhamento das atividades, durante a execução do modelo 3D. A Figura 25 demonstra a ideia aproximada da construção da lógica.

Os resultados obtidos com a simulação computacional permitiram análises mais realistas a respeito dos potenciais ganhos, como: a estruturação e sistematização das operações, aumento da eficiência, tendência a redução de erros, otimização da utilização do espaço do armazém, incremento da segurança das operações, ergonomia do operador, facilitação na identificação de gargalos no processo logístico, melhoria na visualização e percepção geral de cada etapa da operação, exibiu também um resultado quantitativo importante para comprovação do conceito, o aumento de produtividade na ordem 140% no tempo no processo de expedição dos pedidos.

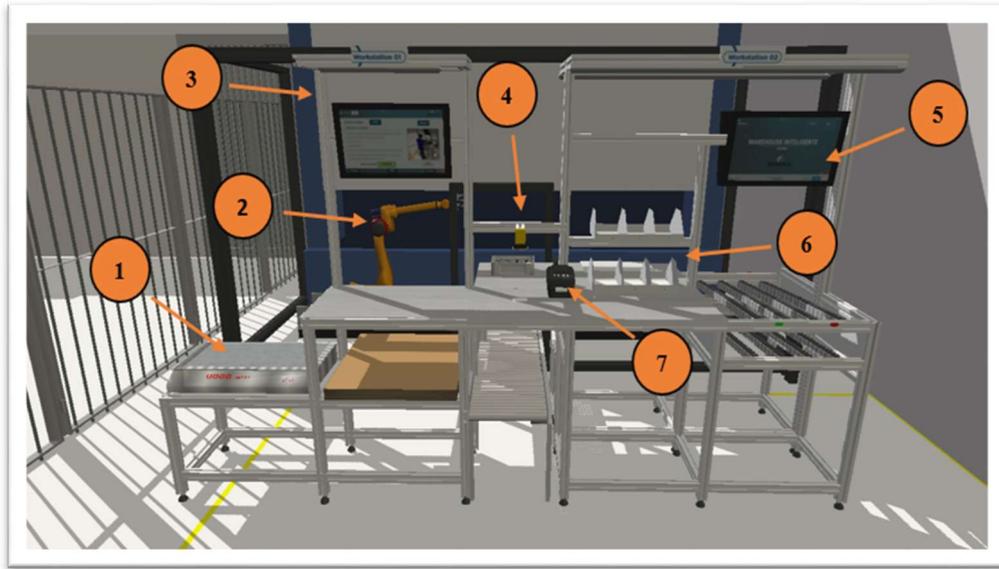
Figura 25. Lógica computacional de operação do armazém construído no FlexSim



Fonte: Autor, 2021

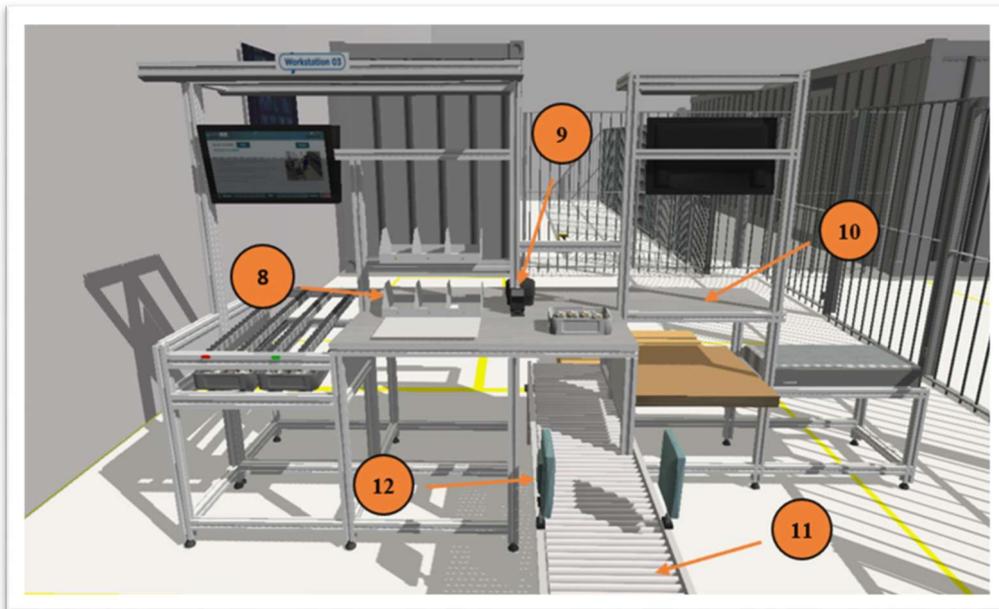
Com essa constatação, tornou-se possível conduzir as próximas etapas do projeto com uma convergência positiva sobre a combinação das tecnologias habilitadoras mapeadas e indicadas para garantir um melhor desempenho das operações logísticas. A Figura 26, a Figura 27 e o Quadro 10 (legenda das figuras) mostram os recursos tecnológicos implementado. Complementando, a Figura 28 e a Figura 29 apresentam o leiaute do conjunto de soluções que compuseram o cenário.

Figura 26. Visão frontal da simulação computacional do *testbed*



Fonte: Autor, 2021

Figura 27. Visão traseira da simulação computacional da banca inteligente do *testbed*



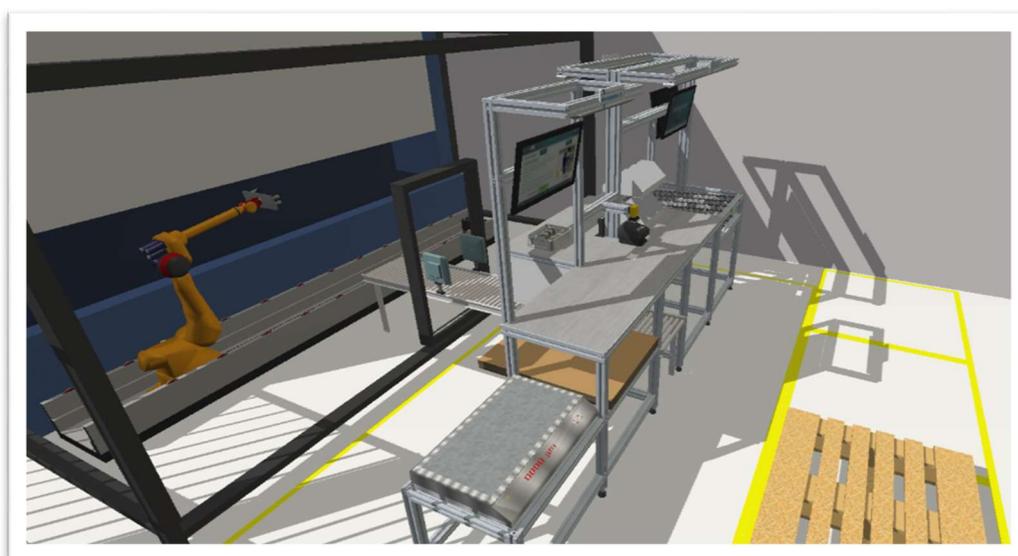
Fonte: Autor, 2021

Quadro 10. Relação das tecnologias indicadas para compor o *testbed*

Legenda		
Número	Nome	Quantidade
1	Balança	1
2	Robô	1
3	<i>Vertical Lift Module - VLM</i>	1
4	Sistema de visão computacional	1
5	Interface homem-máquina - IHM	3
6	Sistema de <i>put-to-light</i>	1
7	Impressora RFID	1
8	Sistema de <i>pick-by-light</i>	1
9	Leitor de <i>QR Code</i>	1
10	Bancada inteligente	1
11	Esteira transportadora	1
12	Antena de RFID	1
13	Controlador Lógico Programável (CLP)	2

Fonte: Autor, 2021

Figura 28. Visão lateral da modelagem computacional do *testbed*



Fonte: Autor, 2021

Figura 29. Interação do operador virtual no *testbed*



Fonte: Autor, 2021

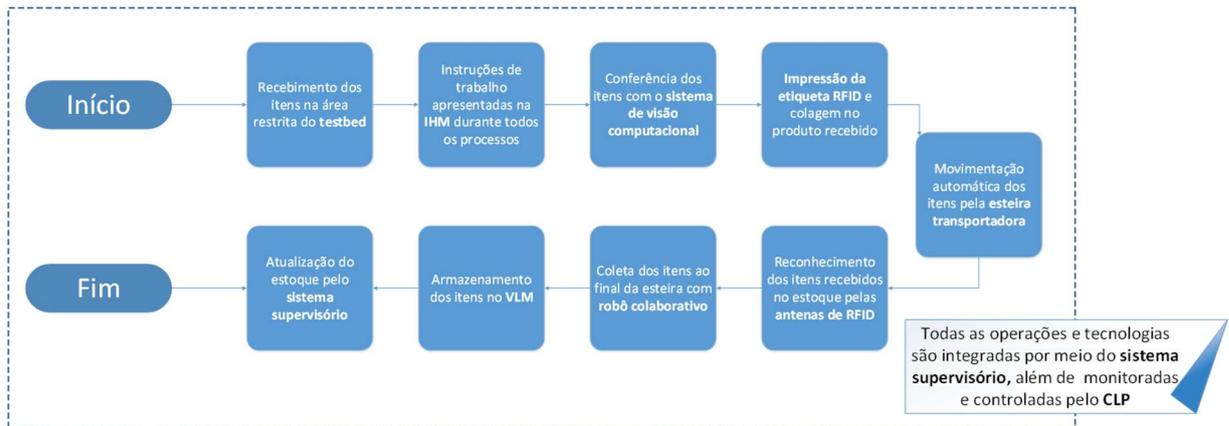
Cada recurso empregado, tinha uma função específica no *testbed* para agregar valor aos processos de recebimento, conferência, armazenamento, separação e expedição dos produtos manipulados. Abaixo, segue uma breve descrição sobre as principais funções dos itens citados anteriormente:

- a) Balança: efetuar a pesagem dos itens que serão expedidos, com o objetivo de confrontar as informações de peso total do pedido com os itens que foram separados;
- b) Robô: movimentar os itens entre o berço da esteira transportadora e o VLM. A implantação desse recurso permite que não haja interferência humana no processo de armazenamento e expedição de produtos, reduzindo assim, a chance de erros operacionais de posicionamento nos endereços cadastrados, assim como o desgaste dos operadores;
- c) *Vertical Lift Module* (VLM): armazenar os produtos automaticamente. O equipamento funciona como um “armazém escuro”, sem a movimentação manual dos itens e controlado por um sistema supervisorio;
- d) Sistema de visão computacional: fazer a leitura automática de códigos grafados para conferência dos produtos que são recebidos e expedidos;

- e) Interface homem-máquina – IHM: computadores que visam servir como veículo de comunicação entre o operador e o sistema supervisorio, apresentando orientações e confirmações de cada processo;
- f) Sistema de *put-to-light*: auxiliar o operador na pré-montagem de kits/abastecimento das bancadas por meio de sinais luminosos que indicam o endereço exato onde os itens devem ser posicionados;
- g) Impressora RFID: imprimir as etiquetas de RFID que identificam os produtos que serão rastreados durante a movimentação no armazém;
- h) Sistema de *pick-by-light*: auxiliar o operador na montagem de eventuais kits demandados pelos clientes, por meio da indicação de sinais luminosos, indicando assim, o endereço onde o operador deve retirar os itens;
- i) Leitor de QR code: realizar a leitura do código do produto manipulado para iniciar a ordem de montagem do kit;
- j) Bancada inteligente: abrigar diversos equipamentos do *testbed* e servir como espaço onde são efetuadas operações de recebimento, conferência e expedição de produtos;
- k) Esteira transportadora: realizar o transporte automático dos produtos da bancada inteligente até o robô colaborativo;
- l) Antena de RFID: ler as etiquetas que identificam os produtos durante a movimentação entre a bancada e o VLM, permitindo que o sistema supervisorio reconheça os itens e atualize automaticamente as quantidades em estoque;
- m) Controlador Lógico Programável (CLP): equipamento que desempenha as funções de controle e monitoramento dos recursos tecnológicos que estão integradas no *testbed*, funciona recebendo informações dos sensores e dispositivos, processando dados e controlando atuadores e dispositivos de saída conforme foi parametrizado.

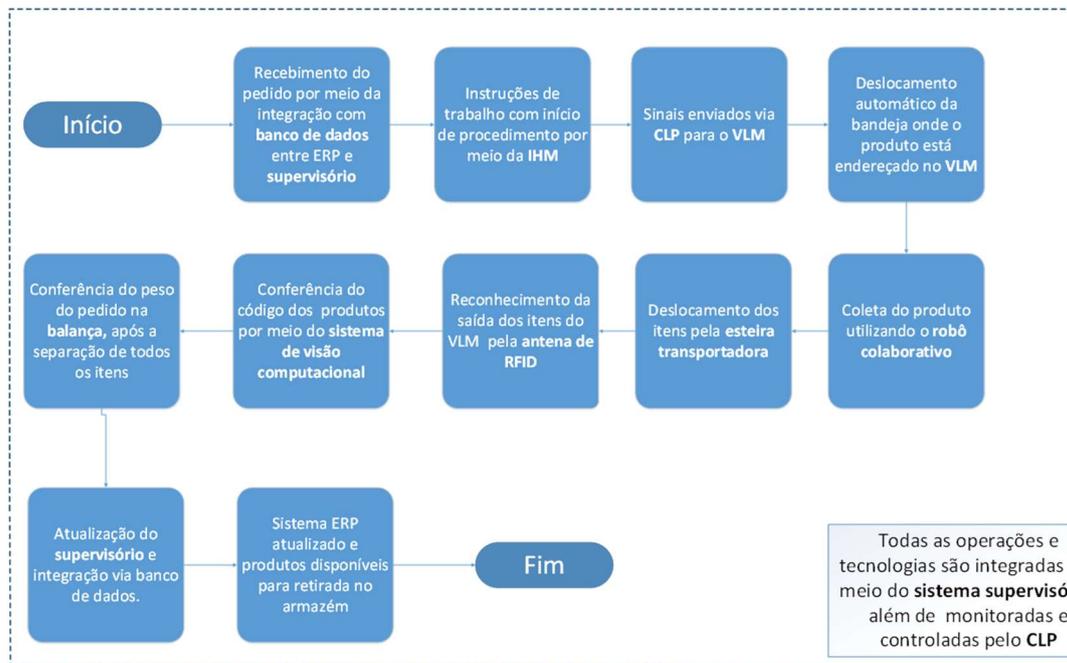
Desse modo, ponderando o fluxo mencionado na Figura 21, com suas etapas obrigatórias, o *testbed* arquitetado para melhorar o desempenho logístico foi configurado considerando dois macro processos: logística recebimento dos produtos e logística expedição dos produtos, conforme apresentados respectivamente nas Figura 30 e Figura 31:

Figura 30. Fluxo do processo de recebimento de produtos no *testbed*



Fonte: Autor, 2021

Figura 31. Fluxo do processo de expedição de produtos no *testbed*



Fonte: Autor, 2021

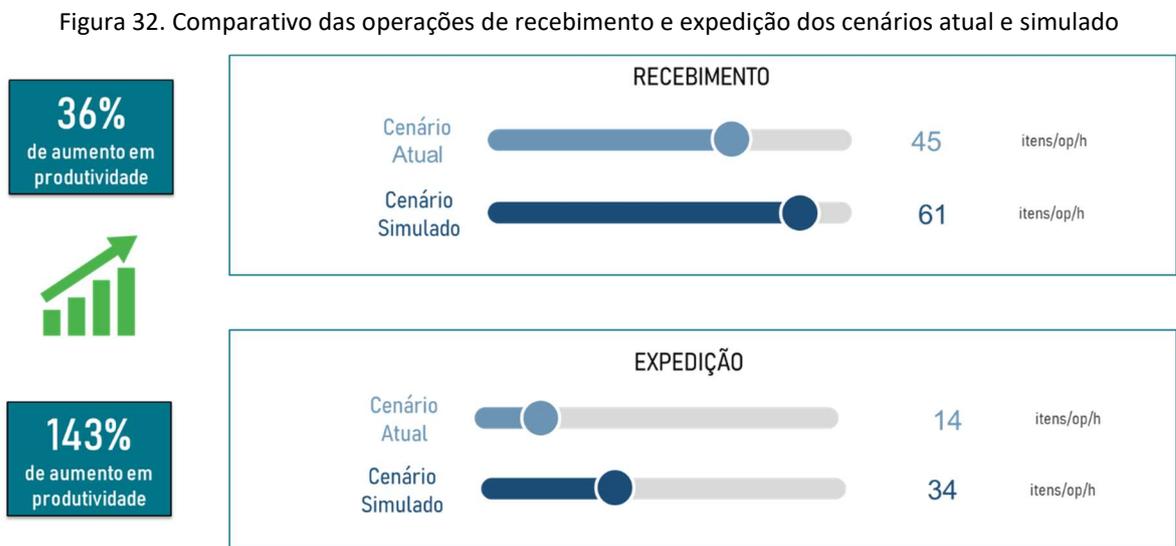
Vale destacar também, que em casos esporádicos, os clientes solicitam a montagem de kits, sendo assim, foram disponibilizadas outras duas tecnologias para auxiliar o processo de identificação e segregação dos itens na bancada, o *put-to-light*, e para separação dos itens que precisam ser montados, o *picking-by-light*.

Para tornar o entendimento mais visual e dinâmico dos fluxos apresentados, foi disponibilizado um vídeo no Youtube da simulação computacional no link:

< <https://youtu.be/d7zRCqDLQRU> >.

Para fins de comparação, foram coletados os tempos dos processos atuais da operação tradicional com os tempos apresentados na simulação computacional do *testbed*. Dessa forma, foi possível identificar uma projeção de aumento de produtividade entre o processo tradicional e o cenário do *testbed* simulado. No cenário atual de recebimento de produtos, foi medido e constatado que 1 (um) operador conseguia receber 45 itens por hora, já no cenário simulado do *testbed* o mesmo operador conseguia fazer 61 itens por hora. Na expedição, 1 (um) operador consegue fazer 14 itens por hora, no novo cenário simulado, ele faz 34 itens por hora, como mostrado na

Figura 32.



Fonte: Autor, 2021

Assim, com a simulação apontando um resultado favorável, respaldado em projeções consistentes, iniciou-se o detalhamento do plano de comissionamento e integração física das tecnologias. Para isso, foi necessário projetar o desenho dos painéis, a arquitetura detalhada de automação, lista de entradas e saídas, fluxograma de programação, diagrama elétrico, lista de carga, lista de telas do supervisor e levantamento dos materiais elétricos e mecânicos para que o projeto pudesse avançar na fase de testes operacionais.

O detalhamento da arquitetura proposta, apresenta as escolhas de tecnologias que melhor atendeu os requisitos do projeto, dentro do escopo, custos e prazos previamente definidos. No Quadro 11, estão listados todos os documentos técnicos do projeto detalhado para realização do comissionamento das tecnologias e construção do ambiente *testbed*.

Quadro 11. Documentos elaborados para o detalhamento técnico do projeto

Apêndices	Documentos	Descrição
Apêndice 3	Fluxograma de Programação	Dispõe o sequenciamento lógico dos processos que ocorrerão no <i>testbed</i> . Este documento serve de subsídio para a concepção e desenvolvimento da plataforma que dará suporte à operação e servirá como interface entre operador e equipamentos.
Apêndice 4	Arquitetura de Automação	Esquematiza os equipamentos e as suas interligações, de forma integrada, além de indicar os protocolos de comunicação que possibilitará a interação entre o sistema supervisorio e os elementos do sistema.
Apêndice 5	Relação de Entradas e Saídas	Documento fundamental com o qual pode-se dimensionar o CLP, uma vez que lista todas as necessidades de acesso que este equipamento deverá possuir para se comunicar com toda a parte integrável da automação do sistema.
Apêndice 6	Lista de Cargas	Descreve os equipamentos elétricos que serão instalados no protótipo e as suas características, como localização, potência e tensão elétrica.
Apêndice 7	Diagramas Elétricos	Apresenta uma estruturação gráfica das conexões elétricas que serão utilizadas no projeto.
Apêndice 8	Diagrama Pneumático	Exibe de forma gráfica, as características das demandas de ar comprimido para que se possa atender às necessidades de operação do <i>testbed</i> .
Apêndice 9	Arranjo Físico dos Equipamentos	Planta baixa com a disposição física dos equipamentos em escala
Apêndice 10	Modelo representativo do banco de dados	Serviu para armazenar e fornecer informações entre o supervisorio e o ERP.
Apêndice 11	Desenho da passagem de cabos	Serviu para guiar e estruturar de forma segura e organizada, os fios e cabos que compuseram o ambiente protótipo.

Fonte: Autor, 2022

Com este nível de detalhamento, foi possível conduzir o projeto para etapa de testes em ambiente controlado (laboratorial) para validação da arquitetura. Nesta etapa, verificou-se alguns obstáculos que necessitam do suporte de profissionais das áreas de Automação e Tecnologia da Informação, como: configurações no alcance das antenas de rádio frequência (RFID), programação fina dos pontos de coleta e entrega do robô, conforme os endereçamentos

mapeados, calibrações no sistema de visão computacional para ajustar a iluminação e distância adequada para conferência dos produtos, configurações no CLP, assim como comissionamento das tecnologias. A Figura 33 exibe a evolução da etapa mencionada.

Figura 33. Projeto na fase de testes em ambiente controlado (laboratorial)



Fonte: Autor, 2021

Após a validação da integração das tecnologias, análise do comportamento de operação do *testbed* em ambiente laboratorial e o mapeamento e análise dos riscos envolvidos no projeto para operacionalização do protótipo, foi concebido um plano de transferência de tecnologias (*databook*), com a finalidade de documentar as instruções de trabalho, modos de falhas e intervenções necessárias, caso algum recurso apresente comportamentos não previstos, assim, as demonstrações em ambiente relevante puderam ser realizadas de forma segura, ordenada e eficiente.

Figura 34. Testes em ambiente relevante (empresa)



Fonte: Autor, 2021

Finalmente, o resultado da arquitetura proposta testada e validada, conforme pode ser visto na Figura 34. Todas as tecnologias foram devidamente comissionadas e integradas, os operadores da empresa tiveram a oportunidade de conhecer e experimentar a orquestração desses recursos que tinham como propósito também, melhorar as condições de trabalho das pessoas, assim como proporcionar um fluxo logístico eficaz, eliminando desperdícios e aumentando a produtividade das operações, como pode ser apurado na Figura 35, o que denota a comprovação do conceito e estudo apresentado até aqui.

Figura 35. Comparativo entre os cenários atual, simulado e *testbed*



Fonte: Autor, 2021

Importante destacar que, apesar do *testbed* ter sido construído analisando como referência a arquitetura e abordagem proposta neste estudo, as tecnologias que foram implantadas no armazém, foram direcionadas conforme a necessidade do parceiro, característica dos produtos manipulados, o impacto e tendência das tecnologias, assim como as limitações de investimento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado o contexto tratado e diante do entendimento do impacto e importância das atividades logísticas na cadeia de suprimentos, fica evidente que o setor de armazenagem e distribuição possui grande potencial de aplicação de tecnologias da logística 4.0, as quais são capazes de melhorar significativamente o desempenho das operações dos armazéns que se utilizam do modelo tradicional com pouca ou nenhuma tecnologia aplicada.

A comprovação prática desta arquitetura, com a construção de um *testbed* físico, por meio da implementação na operação do armazém da empresa escolhida, permitiu que se demonstre os ganhos logísticos por meio de uma prova de conceito validada em ambiente relevante.

Visualizar cenários tecnológicos aplicados em ambientes reais, nesse caso, mitiga riscos de investimentos por impulso e possibilita a escolha das mesmas soluções para diferentes problemas. A falta de cuidado nessa avaliação da complexidade do armazém e dos seus requisitos levam as empresas a terem problemas ao combinar tecnologias, apresentando dificuldade de identificar a plataforma certa para integrar várias soluções, não favorecendo assim, a inteligência humana e das máquinas.

As principais vantagens apresentadas no estudo da arquitetura proposta para armazéns inteligentes são:

Quadro 12. Vantagens e resultados com a aplicação da arquitetura proposta

Vantagens	Resultados
Informações obtidas em tempo real	Acelera a tomada de decisões e promove aos clientes um tempo de resposta mais rápido do operador logístico.
Adaptabilidade e flexibilidade	Atende as variações nos diversos produtos manipulados, devido às constantes mudanças no perfil de consumo da população.
Uso de plataformas webservice e sistemas integrados para conferência, recebimento e armazenamento de dados	Exclui a necessidade de papel na operação.
Utilização de dispositivos automáticos/autônomos	Proporciona eficácia nas operações e segurança dos itens manipulados.
Rastreabilidade das informações	Rastreia os itens durante a movimentação e fornece informações para cadeia de distribuição.
Melhorias na escalabilidade operacional	Permite que as intervenções aconteçam de forma mais rápida e menos onerosa, com interferência mínima nas rotinas do armazém.
Modularidade autônoma	Capacidade de auto gerenciar funções básicas em ambientes inteligentes.
Interoperabilidade entre os módulos da arquitetura	Opera o sistema com componentes e ferramentas diferentes, de fornecedores diferentes, podem ou não atuar em conjunto.
Decisões automatizadas com base em dados históricos de armazenagem, movimentação e pedidos utilizando algoritmos inteligentes	Antecipa posições dos itens no espaço, reserva recursos para um determinado período e cria rotas otimizadas de picking, por exemplo.

Fonte: Autor, 2022

Apesar das oportunidades, existem entraves que em alguns casos não podem ser evitados pelas empresas que pretendem investir em tecnologias habilitadoras. Alguns obstáculos em implantar um armazém inteligente podem ser considerados como:

Quadro 13. Entraves e impactos com investimentos em tecnologias habilitadoras

Entraves	Possíveis impactos
Investimento inicial	A depender do valor, muitas empresas poderão ter dificuldades na implantação de sistemas automatizados.
Máquinas e sistemas difíceis de obter	Dificulta a definição do leiaute e processos de armazém mais adequados.
Treinar os funcionários para novos processos	Necessidade de desenvolver novas habilidades e conhecimentos para implementar e manter os sistemas
Dependência de fornecedores de hardware e software	Longo tempo de inatividade das máquinas e alto custo para reparação ou suporte.
Falhas de hardware ou software	Diante do alto nível de automatização dos sistemas de movimentação e armazenagem, esses recursos podem apresentar falhas que impactam diretamente no tempo de atendimento ao cliente.

Fonte: Autor, 2022

No planejamento para o desenvolvimento de armazéns inteligentes, esses fatores devem ser considerados para evitar impactos na operação, nos custos envolvidos pela transformação, assim como no nível de serviço ao cliente.

Neste estudo, o termo inteligente, ou *smart*, vem sendo designado para se referir à dispositivos e ambientes que estão constantemente conectados. Os armazéns inteligentes garantem se amparar dessa melhor conectividade e de outros aspectos tecnológicos já citados para oferecer melhor controle de estoque, rastreabilidade dos produtos e eficácia nas operações.

Assim, pode-se afirmar que armazém inteligente ou armazém 4.0 é uma evolução do armazém automático, denominado de armazém 3.0. Vale salientar que o armazém inteligente continua arquitetado como uma infraestrutura na qual a maioria dos processos logísticos são executados por meio de equipamentos de movimentação automáticos, no entanto, eles são gerenciados por um software integrado e complementados com tecnologias habilitadoras como inteligência artificial, *big data analytics*, realidade estendida, *digital twin*, cibersegurança, além

dos sensores e dispositivos conectados de IIOT.

Logo, constatou-se que, por meio da implantação do *testbed* na empresa parceira, utilizando-se da arquitetura proposta no estudo, esse projeto se trata do início de um ciclo para alcançar integralmente o estado da arte no que concerne a logística 4.0, ou seja, mesmo com as inúmeras vantagens e melhorias proporcionadas no armazém, até então tradicional, existe ainda uma rota tecnológica a ser trilhada.

Nesse contexto, o conjunto de tecnologias abrigadas e conectadas por meio de um sistema supervisor que alimenta automaticamente um banco de dados na nuvem, habilita a anexação de novos recursos citados no estudo e empreendidos na arquitetura para armazéns inteligentes. Esse primeiro ciclo sustentará a empresa no fornecimento de dados gerados pelos processos, de modo que futuramente, por exemplo, consigam priorizar demandas mais urgentes, redistribuir atividades, prever demandas, reservar recursos e até mesmo funcionar de forma autônoma. Em outras palavras, consolidar informações e analisar dados para melhorar as operações.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição desse trabalho nas pesquisas voltadas à implantação de tecnologias habilitadoras em armazéns foi prover embasamento teórico e experimental de como as soluções da indústria 4.0 podem apoiar os processos logísticos.

Partindo-se da questão de pesquisa “como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem auxiliar os processos logísticos dos armazéns inteligentes?”, percebeu-se que as tecnologias da logística 4.0, se orquestradas perante um propósito bem arquitetado, podem proporcionar melhorias no desempenho dos processos logísticos de um armazém, oferecendo informações em tempo real para tomada de decisões, flexibilidade, rastreabilidade, interoperabilidade, modularidade, integração e comunicação entre máquinas, assim como a automação de decisões com base em análise de um grande volume de dados.

De acordo com o objetivo deste trabalho que foi “propor uma abordagem baseada em tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 na logística de armazéns para desenvolver uma estrutura física e lógica de arquitetura integrada, generalizável e escalável a fim de aumentar a produtividade, confiabilidade e segurança nos processos de recebimento, armazenagem e expedição”, entende-se que o objetivo foi atingido, uma vez que, diante das oportunidades apresentadas no fluxo de materiais e informações dos armazéns tradicionais, como retrabalhos, contra fluxos, excesso de movimentação, excesso de papelada, manipulação excessiva de produtos, ausência de integração entre sistemas, deficiência na rastreabilidade dos produtos, falta de sinalização, fragilidade na segurança, dentre outras carências citadas neste estudo, a proposta apresentou-se eficaz na melhoria dos processos logísticos dos armazéns.

Logo, buscou-se mostrar por meio da arquitetura de armazéns inteligentes, uma estrutura física, integrada, generalizável e escalável baseada nas tecnologias habilitadoras. Frente aos desafios em implantar armazéns inteligentes, devido à inúmeras variáveis decisórias, a arquitetura propõe uma abordagem dividida em módulos para atender as funções do sistema.

Para implantação de armazéns inteligentes, inicialmente indicou-se alternativas virtuais em cenários complexos para suporte às decisões, como sistemas de modelagem e simulação computacional, no intuito de avaliar combinações e comportamentos dos processos e recursos, identificar gargalos e dimensionar as soluções com base na observação de eventos. Para imergir e/ou interagir com o cenário tecnológico simulado, a arquitetura indica a utilização de hardwares de realidade estendida para proporcionar uma aproximação mais realista do ambiente estudado. Essa combinação apoia as decisões de investimento, analisa tendências e cria um gêmeo digital com o objetivo de estudar alternativas sem interromper as atividades do dia a dia

do armazém.

A etapa seguinte, apresentou as possibilidades para conceber a infraestrutura de comunicação da arquitetura, com a finalidade de integrar todos os equipamentos físicos e processos, armazenar, gerenciar e analisar com uso de *big data analytics*, pontos de dados que oferecerão a capacidade de prevê condições de operação, bem como conectar máquinas e dispositivos IIoT. Contudo, conclui-se que essas funcionalidades dependem dos níveis de autonomia almejados no projeto.

De posse das informações dos processos logísticos do armazém, focados no atendimento ao cliente e suportados pela estratégia de entregar o produto certo, na quantidade certa, no tempo certo, ao menor custo possível, a última camada apresenta a seleção das tecnologias habilitadoras do sistema para sua operação no nível físico. Elas representam a orquestração dos hardwares e softwares que se utilizam das vantagens tecnológicas apresentadas neste estudo, para exercerem suas funcionalidades no sistema e melhorar o desempenho dos armazéns, tornando-os inteligentes.

O estudo mostrou que decidir a combinação de tecnologias a ser utilizada, depende da análise cuidadosa de variáveis como característica e volume dos produtos, tamanho do armazém, velocidade esperada, segurança, modelo da operação logística, bem como as condições de intervenção humana para executar diferentes operações de forma eficaz. Todos esses podem variar significativamente, o que requer um estudo exclusivo. Uma solução única para todos os problemas simplesmente não funciona.

O capítulo de comprovação do conceito evidenciou que a arquitetura proposta pode ser usada para atingir melhores resultados em armazéns já existentes ou prescrever e apoiar o projeto de arquitetura de novos armazéns inteligentes. Isso indica que outros armazéns podem ser concebidos com base nesta arquitetura generalizável, empregando a abordagem apresentada neste estudo e ponderando especialmente sua classificação.

O investimento necessário para aplicação do nível de tecnologia abordado no estudo por sua vez é alto e não aplicável integralmente em todos os negócios. A comunicação entre as tecnologias de diferentes fabricantes, apresentou-se também como um entrave na implantação dessas soluções, assim como percebeu-se a necessidade na preparação e desenvolvimento de novas habilidades e comportamentos pela equipe responsável pelas operações.

Conforme foi apresentado, a priorização na escolha das tecnologias passa pelo entendimento do impacto nas atividades, retorno do investimento, tendências e estratégia da empresa. Identificar e qualificar esses fatores, como feito na pesquisa, torna determinante a

tomada de decisão para aplicação de tecnologias 4.0 na logística de armazenagem. Portanto, a abordagem proposta para armazéns inteligentes habilita, pelo aprendizado contínuo que lhe é inerente, erradicar gradativamente esses obstáculos e evoluir de forma sincronizada com as melhores tecnologias emergentes.

A arquitetura aplicada apresentou resultados satisfatórios na empresa parceira do projeto e sancionou a metodologia construída e validada por meio do *testbed*. Logo, pode-se concluir que diante das melhorias realizadas no armazém, o início de uma rota tecnológica inteligente, ou 4.0, proporcionou a rastreabilidade dos produtos e processos, eliminação de papéis na operação, tornou a estrutura modular e flexível, reduziu movimentos desnecessários, automatizou os processos de conferência, transporte e armazenamento dos produtos, diminuiu a curva de aprendizado de novos colaboradores, e aumentou a produtividade das atividades de recebimento, armazenagem e expedição.

7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Os conhecimentos obtidos por meio do desenvolvimento da arquitetura de armazéns inteligentes para logística 4.0 desta dissertação podem ser ampliados. Recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação da arquitetura proposta com análise experimental em armazéns de diferentes classificações, desde volumes movimentados, nível de intervenção humana, padronização e característica dos produtos, uma vez que a abordagem apresentou transversalidade à segmentos distintos.

Outra investigação indicada é a evolução da arquitetura nas operações logísticas que antecedem os processos de armazenagem, de modo a avaliar os fatores que influenciam o dimensionamento e concepção destes armazéns inteligentes.

No estudo para comprovação do conceito da arquitetura proposta na empresa parceira, em função das limitações de investimento, número de itens manipulados e espaço, outras tecnologias habilitadoras não foram implantadas no armazém. Logo, verificar novas orquestrações com base nos recursos sugeridos na arquitetura, torna-se relevante para a ampliação da pesquisa.

Por fim, sugere-se também um estudo que observe a construção de armazéns ainda não existentes, utilizando-se da metodologia proposta para integração das tecnologias habilitadoras apresentadas na arquitetura.

7.2 Limitações do Trabalho

A comprovação do conceito apresentada neste trabalho, limitou-se a um tipo de armazém, utilizando-se de dois diferentes produtos para compreender e validar a arquitetura proposta.

Outra limitação refere-se ao modelo de operação do armazém da empresa estudada, existem outras classificações ou tipos de operações de intralogística que não foram consideradas.

Diferentes tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem ser incorporadas na arquitetura de armazéns inteligentes, o que representa também uma limitação, devido as atualizações constantes neste segmento logístico.

Por fim, vale salientar que nem todas as organizações terão condições financeiras de aplicar essas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVICI, M.; GÖBEL, JC.; DANG, HB. **Gerenciamento de dados semânticos para o desenvolvimento e reconfiguração contínua de produtos e sistemas inteligentes**. CIRP Ann, p. 185 – 188, 2016.
- ACCENTURE. **Valor no Centro da Automação de Armazéns**. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-162/Accenture-Valor-Centro-Automacao-Armazens.pdf. Último acesso em 20 de dezembro de 2021.
- AUTOMNI. **O que é Picking Colaborativo? Entenda a forma como robôs estão transformando Centros de Distribuição**. Disponível em: <https://automni.com.br/o-que-e-picking-colaborativo-entenda-a-forma-como-os-robos-estao-transformando-os-centros-de-distribuicao/>. Último acesso em 18 de dezembro de 2021.
- AKENINE-MÖLLER, T.; HAINES, E., **Real-Time Rendering**, A K Peters, 2002.
- ALVES, P. R.; BEZERRA, B. S.; RODRIGUES, S. A.; SCALIZA, J. A. **A importância da RFID para logística**. Em: XXIII SIMPEP, 2016.
- AMODU, O.A.; OTHMAN, M. **Machine-to-machine communication: an overview of opportunities**. Comput. Network, 145, pp. 225–276, 2018.
- ATLEE, J. **Selecting safer building products in practice**. Journal of Cleaner Production, v. 19, p. 459 e 463, 2011.
- ATTARAN, M., **The Rise of 3-D Printing: The Advantages of Additive Manufacturing Over Traditional Manufacturing**. Bus. Horizons, v. 60, pp. 677-688, 2017.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento de logística de negócios: planejando, organizando e controlando o suprimento**, 4.º edn, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2019.
- BARFIELD, W. **Fundamentals of wearable computers and augmented reality**, second edition, 2016.
- BARILAN, J. **Which index? A comparison of Web of Science, Scopus and Google Scholar**. Scientometrics, v. 74, n. 2, p. 257-271, 2008.
- BARNEY, J. **Firm resources and sustained competitive advantage**. Journal of Management, 17, 99–120, 1991.
- BARNEY, J. **Is the resource-base “view” a useful perspective for strategic management research?** Yes. Academy of Management Review, 26, pp. 41–56, 2001.
- BEHANDISH, M., NELATURI, S., & de KLEER, J. **Automated process planning for hybrid manufacturing**. CAD Computer Aided Design, 102, p. 115–127. 2018. <http://doi.org/10.1016/j.cad.2018.04.022>
- BIRJE M.N., CHALLAGIDAD P.S., GOUDAR R.H., TAPALE M.T. **Cloud computing review: Concepts, technology, challenges and security**. Int. J. Cloud Comput. 6: 32-57, 2017.

- BRAGG, S. **Inventory Best Practices**, 1ª Edição, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2004.
- BRYNJOLFSSON, E., ROCK, D., & SYVERSON, C. **Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics**. National Bureau of Economic Research, 2017.
- CAO, Q.; SCHNIEDERJANS, D.G.; SCHNIEDERJANS, M. **Establishing the use of cloud computing in supply chain management**. *Operat. Manag. Res.* 10: 47-63, 2017.
- CARDIN, O.; TRENTESAUX, D.; THOMAS, A. **Coupling predictive scheduling and reactive control in manufacturing hybrid control architectures: state of the art and future challenges**. *J Intell Manuf* 28, pp. 1503–1517, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1139-0>
- CARNES, C. M., CHIRICO, F., HITT, M. A., HUH, D. W., & PISANO, V. **Resource orchestration for innovation: Structuring and bundling resources in growth-and maturity-stage firms**. *Long Range Planning*, 50, pp. 472–486, 2017.
- CIRIBELLI, Marilda Corrêa. **Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. Marilda Ciribelli Corrêa, Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.
- CHAN, C. M. L.; HACKNEY, R.; PAN, S. L.; CHOU, T.-C. **Managing e-government system implementation: A resource enactment perspective**. *European Journal of Information Systems*, 20, pp. 529–541, 2011.
- CHEN, C. L. P.; ZHANG, C. **Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data**. *Information Sciences*, v. 275, pp. 314-347, 2014.
- CHEN, HSINCHUN; CHIANG, ROGER H.L.; STOREY, VEDA C., **Business intelligence and analytics: from big data to big impact**. *Business Intelligence Research*, v. 36, n. 4, pp. 1165- 1188, 2012.
- CHWIF, F.; MEDINA, A. *Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. dos autores, 2010.
- CORRÊA, HENRIQUE L. **A Indústria 4.0 e suas implicações para as cadeias de suprimentos**. School of Business Rollins College – Winter Park, Fl, USA, 2019.
- COYLE, D.; NGUYEN, D. **Cloud computing, cross-border data flows and new challenges for measurement in economics**. *National Institute Economic Review*, n. 249, pp. 30-38, 2019.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- CUI, M.; PAN, S. L.; CUI, L. **Developing community capability for e-commerce development in rural China: A resource orchestration perspective**. *Information Systems Journal*, 29, pp. 953–988, 2019.
- CUNHA, M. B. **Para saber mais: fontes de informação em ciência e tecnologia**. Brasília: Briquet de Lemos/Livros, p. 168, 2001.

- DAUGHERTY, P. R.; WILSON, H. J. **Human+ machine: Reimagining work in the age of AI**. Boston, Massachusetts: Harvard Business Review Press, 2018.
- DAVENPORT, T. H.; RONANKI, R. **Artificial intelligence for the real world**. Harvard Business Review, 96, pp.108–116, 2018.
- DELAGE. **Como funciona o voice picking?** Disponível em: <https://delage.com.br/blog/como-funciona-o-voice-picking/> . Último acesso em 12 de setembro de 2021.
- DELOITTE. **Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies**, 2014.
- DHL. **Projeto de realidade aumentada da DHL para Canon inova processo de picking em centros de distribuição**. Disponível em: <https://www.dhl.com/br-pt/home/imprensa/arquivo-de-imprensa/2020/projeto-de-realidade-aumentada-da-dhl-para-canon-inova-processo-de-picking-em-centros-de-distribuicao.html>. Último acesso em 16 de agosto de 2021.
- DIISRTE. **Enabling technology futures: a survey of the Australian technology landscape - Executive Report**, Canberra, Australia: Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education, 2012.
- DIWAN, M. **Internet Of Things In Logistics: Towards Autonomous Logistics & Smart Logistics Entities**. The International Maritime Transport Logistics Conference (Marlog 5) Toward Smart Ports, 2016.
- DUAN, Y., EDWARDS, J. S., & DWIVEDI, Y. K. **Artificial intelligence for decision making in the era of big data – Evolution, challenges and research agenda**. International Journal of Information Management, 48, pp. 63–71, 2019.
- DUKIĆ, G., ČESNIK, V., E OPETUK, T. **Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing**, Strojarstvo: Journal for Theory and Application in Mechanical Engineering, 52, 1, pp. 23-31, 2010.
- DWIVEDI, Y. K., HUGHES, L., ISMAGILOVA, E., AARTS, G., COOMBS, C., CRICK, T. **Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy**. International Journal of Information Management, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>.
- EDGE. **AGV ou AMR? Qual a melhor tecnologia para robôs móveis?** Disponível em: <https://blog.edgeglobalsupply.com.br/agv-ou-amr/>. Último acesso em 10 de dezembro de 2021.
- EXAME. **Ajinomoto investe em robôs colaborativos e eleva produtividade**. Disponível em: <https://exame.com/negocios/ajinomoto-investe-em-robos-colaborativos-e-eleva-produtividade/> . Último acesso em 16 de outubro de 2021
- F. HUANG, MA VASARHELYI. **Aplicando automação de processos robóticos (RPA) em auditoria: uma estrutura**. Int. J. Conta. Inf. Syst., 35, p. 100433, 10.1016 / j.accinf.2019.100433, 2019.

- FABER, N.; DE KOSTER, M.; SMIDTS, A. **Organizing warehouse management**. International Journal of Operations & Production Management, 33, pp. 1230–1256, 2013.
- FAN, TIJUN; TAO, FENG; DENG, SHENG; LI, SHUXIA. **Impact of rfid technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies**. International Journal of Production Economics, v. 159, pp. 117–125, 2015.
- FERSILTEC. **AGV X AMR: Tudo o Que Precisa Saber sobre Robôs Móveis**. Disponível em: <https://fersiltec.com.br/blog/robotica/agv-x-amr/>. Último acesso em 13 de outubro de 2021.
- FISCH, Christian; BLOCK, Joern. **Six tips for your (systematic) literature review in business and management research**. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0142-x>
- FORBES. **Why 2017 Is The Year Of Artificial Intelligence**. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/02/27/why-2017-is-the-year-of-artificial-intelligence/?sh=7b226cc557a1>. Último acesso em 09 de novembro de 2021.
- FRANCESCHET, M. **A comparison of bibliometric indicators for computer science scholars and journals on Web of Science and Google Scholar**. Scientometrics, v. 83, n.1, p. 243-258, 2010.
- FUTURE. **IoT – Internet das Coisas, conceitos e desafios da segurança**. Disponível em: <https://www.future.com.br/blog/iot-internet-das-coisas-conceitos-e-desafios-da-seguranca/>. Último acesso em 12 de dezembro de 2021.
- GALINDO DOMINGO, L. **Os Desafios da Logística 4.0 para a Gestão da Cadeia de Abastecimento e a Tecnologia da Informação**, dissertação de mestrado, NTNU, 2016.
- GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. **Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação**. Logeion: Filosofia da Informação, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. DOI: 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73. Disponível em: <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>. Último acesso em em 17 maio de 2022
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**. 2 ed. New York: Springer, 2015.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2010.
- 158.GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Digital Image Processing**. 3. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, p. 954, 2008.
- GOOSSENS, P. **Indústria 4.0 e o poder do gêmeo digital**. Disponível: <https://www.maplesoft.com/ns/manufacturing/industry-4-0-power-of-the-digital-twin.aspx>. Último acesso em 24 de setembro 2021.

- HARRISON Robert; VERA Daniel; AHMAD Bilal. **Engineering the Smart Factory**. Warwick Manufacturing Group, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, UK. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309474575_Engineering_the_smart_factory. Último acesso em 06 de novembro de 2021.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**, 49th Hawaii Intl. Conf. on System Sciences, 2016.
- HIMANSHU, NIKHIL SHARMA; RAJINDER SINGH DR. **Evolution of IoT to IIoT: Applications & Challenges**, HMR Institute of Technology & Management, Delhi-110036, India, 2020.
- HOFMANN, P., SAMP, C., URBACH, N. **Automação de processos robóticos**. *Elétron. Marca*, 30, pp. 99 – 106, 2020, 10,1007 / s12525-019-00365-8
- HONEYWELL. **Como a computação quântica irá transformar o futuro de 5 indústrias**. Disponível em: <https://www.honeywell.com/br/pt/news/2020/07/how-quantum-will-transform-the-future-of-5-industries>. Último acesso em 11 de dezembro de 2021.
- HONG-YING, S. **The application of barcode technology in logistics and warehouse management**. First International Workshop on Education Technology and Computer Science, Vol. 3, pp. 732–735, 2009.
- HORENBERG, D. **Applications within Logistics 4.0: A research conducted on the visions of 3PL service providers**. Bachelor's thesis. University of Twente, 2017.
- HPE. **Computação que potencializa a transformação**. Disponível em: <https://www.hpe.com/br/pt/compute-systems.html>. Último acesso em 30 de outubro de 2021.
- HU, M.; HUANG, F.; HOU, H.; CHEN, Y.; BULYSHEVA, L. **Customized logistics service and online shoppers' satisfaction: na empirical study**. USA, *Internet Research*, v. 26, n. 2, p. 484-497, 2016.
- IBM. **SOA (Arquitetura Orientada a Serviços)**. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/cloud/learn/soa>. Último acesso em 10 de outubro de 2021.
- IND4.0. Manufatura Avançada. **Manufatura aditiva: como otimizar recursos e processos**. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17407-manufatura-aditiva-como-otimizar-recursos-e-processos>. Último acesso em 05 de novembro de 2021.
- INSFRAN, Emilio; FERNANDEZ, Adrian. **A Systematic Review of Usability Evaluation in Web Development**. Conferência: 2º Workshop Internacional sobre Usabilidade e Acessibilidade Web (IWWUA 2008), realizado em conjunto com a 9ª Conferência Internacional sobre Engenharia de Sistemas de Informação Web (WISE 2008). Volume: LNCS 5176, 2008.
- ITTMAN, H. W. **The impact of big data and business analytics on supply chain management**. USA, *Journal of Transport and Supply Chain Management*. v. 9, n. 1, pp. 1-9, 2015.

- LIN, J.; YU, W; ZHANG, N.; YANG, X.; ZHANG, H.; ZHAO, W. **A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and pri-vacy, and applications**, IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, 2017
- JABBAR, S.; KHAN, M.; SILVA, B.N.; HAN, K. **Uma estrutura de web de coisas industrial baseada em REST para armazenamento inteligente**. J. Supercomputador, 74, págs. 4419 – 4433, 2018.
- JAHN, C., KERSTEN, W.; RINGLE, CM. **Logistics 4.0 and Sustainable Supply Chain Management: Innovative Solutions for Logistics and Sustainable Supply Chain Management in the Context of Industry 4.0**. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL) No. 26, 2018.
- JAIDKA, HIMANSHU E SHARMA, NIKHIL E SINGH, RAJINDER. **Evolution of IoT to IIoT: Applications & Challenges**. Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC), 2020. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3603739. Último acesso em 18 de novembro de 2021.
- JUNIPERRESEARCH. **AI in retail. Segment analysis, vendor positioning & market forecasts 2019–2023**. 2018. Disponível em: <https://www.juniperresearch.com/researchstore/fintech-payments/retail-technology-trends-research>. Último acesso em 15 de setembro de 2021.
- KAMALI, A. **Smart warehouse vs. traditional warehouse-review**. CiiT Int. J. Autom. Auton. Syst. 11, pp. 9–16, 2019.
- KARAGIANNAKI, A., PAKIRIAKOPOULOS, D., & BARDAKI, C. **Warehouse contextual factors affecting the impact of RFID**. Industrial Management & Data Systems, 111, pp.714–734, 2011.
- KEATING, S.; OXMAN, N. **Compound fabrication: A multi-functional robotic platform for digital design and fabrication**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 29(6), pp. 439–448, 2013. <http://doi.org/10.1016/j.rcim.2013.05.001>
- KHALLOUKI H. , BAHAJ M. **Quadro genérico multimodal para adaptação de documentos multimídia**. Int. J. Interact. Multimedia Artif. Intell., pp. 122 – 127, 2019.
- KHOSHNEVISAN M. , JOSEPH V. , GUPTA P. **Redes industriais 5G com CoMP para URLLC e arquitetura de rede sensível ao tempo**. IEEE J. Sel. Areas Commun, pp. 947 – 959, 2019.
- KIM C. W; TANCHOCO, J. M. A. **AGV dispatching based on workload balancing**. 1999.
- KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Version 2.3, EBSE Technical Report. Software Engineering Group, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, 2007.
- KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 26. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

- KÜCKELHAUS, M. **Eleven reasons to consider augmented reality in logistics**. Logistics & Transport Focus, v. 17, n. 4, pp. 14-17, 2015.
- KULKARNI, A. V. et al. **Comparisons of citations in Web of Science, Scopus, and Google Scholar for articles**. JAMA, v. 302, n. 10, p. 1092-1096, 2009.
- KUMAR, M. B.; SATHIYA, P. **Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges**. Thin-Walled Structures, v. 159, pp. 1-42, 2020.
- LACITY, M., WILLCOCKS, L., GOZMAN, D. **Influenciando a prática de sistemas de informação: a abordagem dos princípios de ação aplicados ao processo robótico e automação cognitiva**. J. Inf. Technol., pp. 1 - 25 (2021), 10,1177 / 0268396221990778
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- LAMECHE, K., M. NAJID, N., CASTAGNA, P. and KOUISS, K. **Modularity in the design of reconfigurable manufacturing systems**. IFAC-PapersOnLine, Vol. 50, No. 1, pp. 3511–3516, 2017.
- LEE, H.; ÖZER ÖZALP. **Unlocking the value of rfid**. Production and Operations Management Society, v. 16, n. 1, pp. 40–64, 2007.
- LEE, J., BAGHERI, B., & KAO, H.-A. **Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0- based manufacturing systems**. Manufacturing Letters, 2014.
- LEE, C.K.M; YAQIONG LV.; K.K.H. NG.; WILLIAM HO.; K.L. CHOY. **Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart Logistics**. International Journal of Production Research, 2018.
- LIU, X., CAO, J., YANG Y., JIANG, S. **Armazém inteligente baseado em CPS para a indústria 4.0: um levantamento das tecnologias subjacentes**. Computadores, p. 13, 2018.
- LOGISTICSIQ. **Mercado de automação de armazém – previsão para 2027**. Disponível em: <https://www.thelogisticsiq.com/>. Último acesso em 16 de Agosto de 2021.
- MAARTEN V. G., BEDIR T., CAGATAY C. **Projeto de uma arquitetura de referência para o desenvolvimento de armazéns inteligentes na indústria 4.0**. Computadores na Indústria. Volume 124, 2021.
- MAHROOF, K. **A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing: The case of a large retail distribution warehouse**. International Journal of Information Management, 45, pp. 176–190, 2019.
- MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.
- MARODIN, G; ECKERT, C. P; SAURIN, T. A. **Avançando na implantação da logística interna lean: dificuldades e resultados alcançados no caso de uma empresa montadora de veículos**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, pp. 455-479, 2012.

- MATTSSON, S. **Abraçando a mudança: estratégias de gerenciamento na era da economia eletrônica**, Intenia Publ., Danderyd, 2018.
- MIN, H. **Artificial intelligence in supply chain management: Theory and applications**. International Journal of Logistics: Research and Applications, pp. 13–39, 2010.
- MINOLI D. , SOHRABY K. , OCCHIOGROSSO B. **Considerações, requisitos e arquiteturas de IoT para edifícios inteligentes - Otimização de energia e sistemas de gerenciamento de edifícios de última geração**. IEEE Internet Coisas, pp. 269 – 283, 2017.
- MOSCO, V. **Becoming digital: toward a post-internet society**. UK: Emerald Publishing: Bingley, 2017.
- MOURA, R.E. **Armazenagem: do recebimento à expedição**. São Paulo: IMAM, 2006.
- NDOFOR, H. A.; SIRMON, D. G.; HE, X. **Firm resources, competitive actions and performance: Investigating a mediated model with evidence from the in-vitro diagnostics industry**. Strategic Management Journal, 32, pp. 640–657, 2011.
- ORELLANA, F. E R. TORRES. **De Fábricas Baseadas em Legado a Fábricas Inteligentes Nível 2 de acordo com a Indústria 4.0**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 32 (4–5): 441 – 451, 2019. doi: 10.1080/0951192x.2019.1609702 .
- PACCHINI, A.P.T.; LUCATO, W.C.; FACCHINI, F.; MUMMOLO, G. **The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0**. Comput. Ind. 113, pp. 1–8, 2019.
- PAN, S. L.; CUI, M.; QIAN, J. **Information resource orchestration during the COVID-19 pandemic: A study of community lockdowns in China**. International Journal of Information Management, Article 102143, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102143>.
- PEREIRA, T.; BARRETO, L.; AMARAL, A. **Network and informations security challenges within Industry 4.0 paradigm**. Procedia Manufacturing, v. 13, pp. 1253 – 1260, 2017.
- PERES, F. A., & FOGLIATTO, F. S. **Variable selection methods in multivariate statistical process control: A systematic literature review**. Computers & Industrial Engineering, 115, pp. 603-619, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.006>.
- PESHKIN, M. E COLGATE J. E., **Cobots**, Industrial Robot: An International Journal, vol. 26, 5, pp. 335–341, jul. de 1999, issn: 0143-991X. doi: 10 . 1108 / 01439919910283722
- PICKING TO LIGHT. **Pick To Light - Rapidez e eficiência na preparação de pedidos**. Disponível em: <https://www.picktolightsystems.com/pt/produtos-picking/pick-by-light>. Último acesso em 13 de novembro de 2021.
- PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Rio Grande do Sul, 2013.
- QU, T., LEI, S. P., WANG, Z. Z., NIE, D. X., CHEN, X., & HUANG, G. Q. **IoT-based real-time production logistics synchronization system under smart cloud manufacturing**.

- The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84, pp. 147-164, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7220-1>.
- RAI, A., PATNAYAKUNI, R., & SETH, N. **Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities**. MIS Quarterly, 30, pp. 225–246, 2006.
- RASEIRA, C. B. **Design e Tecnologia aplicados a Resíduos de Madeira: Especificações para o Processo de Corte a Laser em Marchetaria**. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2013.
- RAUCH, M., LAGUIONIE, R., & HASCOËT, J. Y. **A STEP-NC approach for multi-process manufacturing, simulation and optimisation**. International Journal of Product Development, 2014. <http://doi.org/10.1504/IJPD.2014.060035>
- RICHARDS, G., **Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse**, 1ª edição, Kogan Page, London, UK, 2011.
- SARDER, M.D. & HASCHAK, M. **Cyber security and its implication on material handling and logistics**. College - Industry Council on Material Handling Education, pp. 1 – 18, 2019.
- SCHLOTT S., **Sistemas de Veículos para Logística 4.0**. ATZ em todo o mundo, 119, pp. 8 – 13, 2017.
- SHERMAN, W. R; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. Morgan Kaufmann, 2003.
- SHIN, M. S.; JU, Y. W.; KANG, H. K.; JEONG, S. P. **Applying RBAC security control model to manufacturing and logistics servisse platform**. Studies in Informatics and Control, v. 24, n. 3, pp. 339 – 350, 2015.
- SILVA, R. J. M.; RAPOSO, A. B.; GATTASS, M. **Grafo de Cena e Realidade Virtual**. In Monografias em Ciência da Computação, n.11/04, Editado por C. J. P. de Lucena, Departamento de Informática, PUC-Rio, 2004.
- SYED, R., SURIADI, S., ADAMS, M., BANDARA, W., LEEMANS, SJJ, OUYANG, C., TER HOFSTEDDE, AH., VAN DE WEERD, I., WYNN, MT., REIJERS, HA. **Automação de processos robóticos: temas e desafios contemporâneos**. Comput. Ind., 115, p. 103162, 2020, [10.1016/j.compind.2019.103162](https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103162)
- SZYMAŃSKA, O., ADAMCZAK, M., P. CYPLIK. **Logística 4.0 - um novo paradigma ou conjunto de soluções conhecidas?** Pesquisa em Logística e Produção, p. 7, 2017.
- SIMPSON, J. **Conceito de Arquitetura**. Oxford English Dictionary, 2017.
- SIRMON, D. G.; HITT, M. A.; IRELAND, R. D.; GILBERT, B. A. **Resource orchestration to create competitive advantage: Breadth, depth, and life cycle effects**. Journal of Management, 37, pp. 1390–1412, 2011.
- SI VISION. **Porque estudar visão computacional? - Aplicações Práticas**. Disponível em: <http://sicomputervision.blogspot.com/2018/07/porque-estudar-visao-computacional.html>. Último acesso em 16 de junho de 2021.

- SKETCHUP. **Produtos SketcUp**. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Último acesso em 22 de novembro de 2021
- STANNEY, K. M. **Handbook of Virtual Environments**, Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
- STEFANIUK, T. **New dimensions of information and knowledge security in reality of Industry 4.0**. Cracow University of Economics, pp. 1–9, 2016.
- STIVANELLO, Maurício Edgar; ROLOFF, Mário Lucio; STEMMER, Marcelo Ricardo. TEM –Sistemas de Visão, parte 01: **Introdução aos sistemas de visão e processamento de imagens digitais**. [S.l.: s.n.], nov. 2019.
- SUN, C. et al. **Additive manufacturing for energy: A review**. *Applied Energy*, v. 282, 2021.
- TAO, F., QI, Q., LIU, A., & KUSIAK, A. **Data-driven smart manufacturing**. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, pp. 157-169, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.
- TOSHNIWAL, R., DASTIDAR, K. G., & NATH, A. **Big data security issues and challenges**. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 2015.
- ULMA. **Pallet Shuttle**. Disponível em: <https://www.ulmahandling.com/br/intralogistica-automatizada/sistema-shuttle> . Último acesso em 22 de setembro de 2021.
- UNCTAD. **Value creation and capture: implications for developing countries**. Digital Economy Report. Geneva: United Nations, 2019.
- UNIVERSAL ROBOTS. **Braços robóticos industriais colaborativos | Cobots da Universal Robots**, 2018.
- VEENMAN, M., TAGSCHERER, U., **Future Perspectives: Planning for the warehouse of the future**, 2018. Disponível em: <https://www.swisslog.com/-/media/swisslog/documents/intralogisticsautomation/whitepaper/whitepaper_warehouseofthefuture_eng2.pdf>. Último acesso em 14 de junho de 2021.
- VERMESAN, O., FRIESS, P., GUILLEMIN, P., GUSMEROLI, S., SUNDMAEKER, H., BASSI, A., EISENHAUER, M. **Internet of things strategic research roadmap**. *Internet of Things-Global Technological and Societal Trends* 1, pp. 9–52, 2011.
- VIALE, L., ZOUARI, D. **Impacto da digitalização nas compras: o caso da automação de processos robóticos**. *Supply Chain Forum Int. J.*, 185, p. 195, 2020, .10.1080 / 16258312.2020.1776089.
- WALES, W. J., PATEL, P. C., PARIDA, V., & KREISER, P. M. **Nonlinear effects of entrepreneurial orientation on small firm performance: The moderating role of resource orchestration capabilities**. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 7, pp. 93–121, 2013.

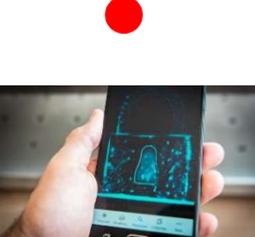
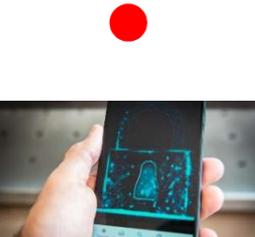
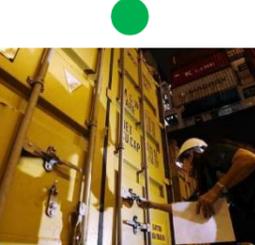
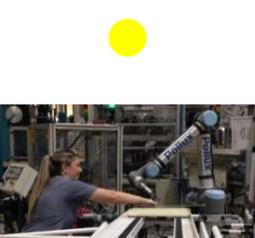
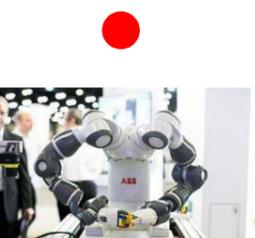
- WANG, N.; LIANG, H.; ZHONG, W.; XUE, Y.; XIAO, J. **Resource structuring or capability building?** An empirical study of the business value of information technology. *Journal of Management Information Systems*, 29, pp. 325–367, 2012.
- WEGENER, D. **Industry 4.0 - vision and mission at the same time.** *Industry 4.0- Opportunities and challenges of the industrial internet*, 2015.
- W3C – World Wide Web Consortium. **Web Services Architecture.** Disponível em: <https://www.w3.org/TR/ws-arch/>. Último acesso em 03 de novembro de 2021.
- XU, B.; GANG, W. **Random sampling algorithm in RFID indoor locations system.** In *Proceedings of the third IEEE international workshop on electronic design, test and applications*, pp. 168–176, 2006.
- YAN, ZHOU, LIYUAN, LI. **The 5G communication technology-oriented intelligent building system planning and design.** School of art and design, Wuhan University of science and technology, Wuhan city, Hubei Province, 430080, China, 2020.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ZACCARIA, V., STENFELT, M., ASLANIDOU, I., KYPRIANIDIS, KG. **Estrutura de monitoramento e diagnóstico de frota baseada em gêmeo digital de motores aeronáuticos.** *Anais da ASME Turbo Expo 2018: Conferência e Exposição Técnica de Turbomaquinas*, 2018.
- ZHANG Y., DENG J.Y., LI M.J. **Uma antena ressonadora dielétrica MIMO com isolamento aprimorado para aplicações de ondas de 5G mm** *Antenas IEEE Wirel. Propag. Lett.*, 18, 4, pp. 747 – 751, 2019.
- ZHANG, D., PEE L.G., CUI, L. **Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource.** *International Journal of Information Management* 57, 2021.
- ZHU, X.; MUKHOPADHYAY, S. K.; KURATA, H. **A review of rfid technology and its managerial applications in different industries.** *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 29, pp. 152–167, 2012.
- ZHU, Z., DHOKIA, V., & NEWMAN, S. T. **The development of a novel process planning algorithm for an unconstrained hybrid manufacturing process.** *Journal of Manufacturing Processes*, 15(4), 404–413. <http://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.006>, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Matriz Morfológica

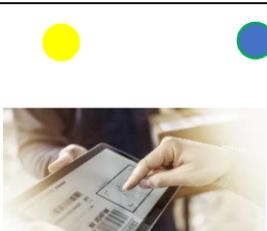
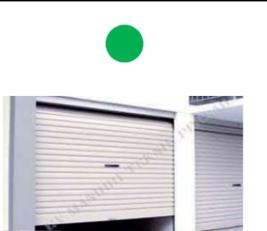
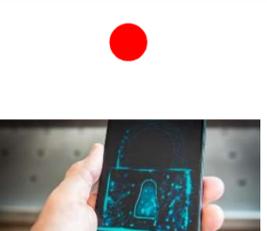
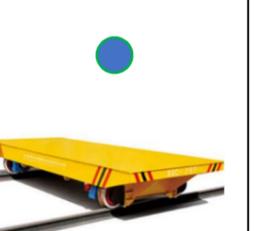
Sistema FIEB		 PELO FUTURO DA INOVAÇÃO		Projeto	Smart Warehouse			Cliente	XXXXXXXXXXXX		
Matriz Morfológica				Fase	Conceitual			Status	Aguardando Aprovação do Cliente no CDR – Conceptual Design Review		
Legenda				Low Tech		Medium Tech		High Tech		Escolhido	
Função N1		Função N2		Princípios de solução para cada função da síntese funcional							
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
F1	Receber informações	Enviar informações dos produtos e das entregas	  Mensagem Eletrônica	   Plataforma Web Service	  Ligação						
F2			Armazenar informações enviadas	  Pastas Físicas	  Pastas em software	   Pastas em nuvens					

F3	Conferir dados recebidos		Ler e conferir os documentos do entregador	  Contato Humano	   Leitura Digital	  Apresentar por câmeras	  Aproximação por aplicativo			
F4	Conferir dados recebidos		Reconhecer características do entregador	   Leitura Facial	  Reconhecimento de digital	  Reconhecimento de Iris	  Contato Humano			
F5	Conferir dados recebidos		Ler e conferir CI de remessa	  Contato Humano	   Reconhecimento digital	  Apresentar por câmeras				
F6	Conferir dados recebidos		Reconhecer características do veículo	  Contato Humano	   Reconhecimento eletrônico	   Reconhecimento por câmeras				

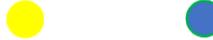
F7	Receber a carga enviada		Abrir o portão	 Força Humana	 Controle Remoto	 Sinal Digital	 Abertura Automática			
F8	Receber a carga enviada		Fechar o portão	 Força Humana	 Controle Remoto	 Sinal Digital	 Fechamento Automático			
F9	Inspeccionar carga		Registrar integridade dos lacres do caminhão	 Check-list Físico	 Registro Fotográfico automático	 Mensagem	 Registro Fotográfico Manual			
F10	Inspeccionar carga		Romper lacres	 Corte manual	 Máquina Automatizada	 Robô Autônomo				

F11	Inspeccionar carga		Abrir porta do caminhão	 <p>Abertura Manual</p>	 <p>Robô Autônomo</p>	 <p>Mecanismo Colaborativo</p>				
F12	Inspeccionar carga		Conferir DI x Físico	 <p>Recebimento de mercadorias</p> <p>Conferir visualmente</p>	 <p>Coletor de Dados</p>	 <p>Conferência via base de dados XML</p>				
F13	Gerar nota fiscal		Gerar nota fiscal	 <p>Manual</p>	 <p>Sistema ERP</p>					
F14	Conferir nota fiscal x DI		Conferir nota fiscal x DI	 <p>Recebimento de mercadorias</p> <p>Conferir visualmente</p>	 <p>Leitura Digital</p>	 <p>Conferência via base de dados XML</p>				

F15	Descarregar o caminhão		Descarregar o caminhão	 Força manual	  Paleteira Manual	  Esteira Automática	  Mecanismos de gravidade	  Guincho Hidráulico "Girafa"	   Empilhadeira	  Empilhadeira Autônoma
F16	Registrar a retirada das cargas		Registrar a retirada das cargas	  Check-list Físico	   Registro Fotográfico automático	  Mensagem	  Registro Fotográfico Manual			
F17	Comunicar ao cliente a retiradas das cargas		Comunicar ao cliente a retiradas das cargas	  Mensagem Eletrônica	   Plataforma Web Service	  Ligação				
F18	Assinar o canhoto da Nota Fiscal		Assinar o canhoto do recebimento-entregador	  Assinatura manual	   Assinatura digital	  Confirmação por aplicativo				

F19	Assinar o canhoto da Nota Fiscal		Assinar o canhoto	 <p>Assinatura manual</p>	 <p>Assinatura digital</p>	 <p>Confirmação por aplicativo</p>				
F20	Liberar o caminhão		Abrir o portão	 <p>Força Humana</p>	 <p>Controle Remoto</p>	 <p>Sinal Digital</p>	 <p>Fechamento Automático</p>			
F21	Liberar o caminhão		Fechar o portão	 <p>Força Humana</p>	 <p>Controle Remoto</p>	 <p>Sinal Digital</p>	 <p>Fechamento Automático</p>			
F22	Colocar material na área restrita		Transportar material para área restrita	 <p>AGV</p>	 <p>Esteira Manual</p>	 <p>Esteira Automática</p>	 <p>Paleteira</p>	 <p>Empilhadeira</p>	 <p>Guiar Lineares</p>	

F23	Colocar material na área restrita		Confirmar material na área restrita	 Documentação Manual	 Check eletrônico	 Sensor de presença				
F24	Desconsolidar itens		Abrir volumes	 Força manual	 Mecanismo Colaborativo	 Braço Robótico				
F25	Desconsolidar itens		Retirar itens da caixa	 Força manual	 Mecanismo Colaborativo	 Braço Robótico operável	 Braço Autônomo			
F26	Desconsolidar itens		Confirmar itens recebidos	 Documentação Manual	 Check eletrônico	 Sensor de presença	 Operação assistida	 Coletor de dados por aplicativo		

F27	Pré-Montar		Separar itens do mesmo kit para montagem	  Força manual	  Mecanismo Colaborativo	  Braço Robótico	  Braço Autônomo			
F28	Pré-Montar		Transferir itens para área de montagem	  AGV	  Esteira Manual	  Esteira Automática	  Paleteira	  Empilhadeira	  Bins Móveis	
F29	Pré-Montar		Confirmar dados dos Kits	  Documentação Manual	  Check eletrônico	  Operação assistida				
F30	Pré-Montar		Confirmar chegada na linha de montagem	  Documentação manual	  Documentação eletrônica	  Sensores	  Operação Remota			

F31	Montar Kit	Montar Kit	  Força manual	   Braço robótico com controle	  Braço Autônomo	   Bancada Inteligente	 Pick by light		
F32	Etiquetar Kit	Etiquetar Kit	  Força manual	   Máquina de Etiquetagem	  Braço Autônomo				
F33	Confirmar Montagem do Kit	Confirmar Montagem do Kit	  Documentação Manual	   Check eletrônico	  Sensor de presença	  Operação assistida			
F34	Armazenar kit no cofre	Cadastrar o kit no WMS	   Comunicação manual	   Algoritmo de endereçamento					

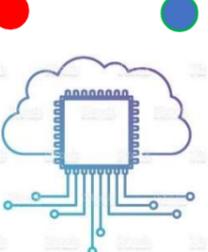
F35	Armazenar kit no cofre		Transferir kit para o cofre	 <p>AGV</p>	 <p>Esteira Manual</p>	 <p>Esteira Automática</p>	 <p>Paleteira</p>	 <p>Empilhadeira</p>	 <p>Bins Móveis</p>	
F36	Armazenar kit no cofre		Colocar o kit no endereço destinado	 <p>Força manual</p>	 <p>Miniload</p>	 <p>Carrossel</p>				
F37	Armazenar kit no cofre		Confirmar armazenamento do kit	 <p>Documentação Manual</p>	 <p>Check eletrônico</p>	 <p>Sensor de presença</p>	 <p>Operação remota</p>			
F38	Receber Pedidos		Receber pedidos	 <p>Mensagem Eletrônica</p>	 <p>Plataforma Web Service</p>	 <p>Ligação</p>				

F39	Preparar informações do pedido		Processar pedidos recebidos	 <p>Consulta manual</p>	 <p>Consulta com o auxílio de softwares</p>	 <p>Algoritmo automático</p>				
F40	Preparar informações do pedido		Consultar endereçamento dos kits no cofre e criar Picking List	 <p>Atividade Manual</p>	 <p>Criação em softwares tradicionais</p>	 <p>Criação em softwares colaborativos (WMS)</p>	 <p>Algoritmo automático</p>			
F41	Retirar kits do cofre		Buscar kits armazenados no cofre	 <p>Força manual</p>	 <p>Miniload</p>	 <p>Carrossel</p>				
F42	Retirar kits do cofre		Confirmar retirada de kits do cofre	 <p>Documentação Manual</p>	 <p>Check eletrônico</p>	 <p>Sensor de presença</p>	 <p>Operação remota</p>	 <p>RFID</p>		

F43	Retirar kits do cofre		Levar kits para área de consolidação	 <p>AGV</p>	 <p>Esteira Manual</p>	 <p>Esteira Automática</p>	 <p>Paleteira</p>	 <p>Empilhadeira</p>	 <p>Bins Móveis</p>	 <p>Produto sair pela janela</p>
F44	Retirar kits do cofre		Registrar itens na área de consolidação	 <p>Registro manual</p>	 <p>Sensores</p>	 <p>Operação assistida</p>				
F45	Consolidar e embalar pedido		Escolher embalagem do pedido	 <p>Manual</p>	 <p>Software Colaborativo</p>	 <p>Algoritmo Autônomo</p>				
F46	Consolidar e embalar pedido		Montar as embalagens do pedido	 <p>Manual</p>	 <p>Braço monta caixa</p>	 <p>Mecanismo em esteira</p>	 <p>Mecanismo colaborativo</p>			

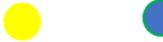
F47	Consolidar e embalar pedido		Consolidar o pedido	 <p>Manual</p>	 <p>Braço monta pedido</p>	 <p>Tecnologias colaborativas</p>				
F48	Consolidar e embalar pedido		Fechar a embalagem do pedido	 <p>Manual</p>	 <p>Braço monta caixa</p>	 <p>Mecanismo em esteira</p>	 <p>Mecanismo colaborativo</p>			
F49	Consolidar e embalar pedido		Checar o pedido montado	 <p>Manual</p>	 <p>Softwares colaborativa</p>	 <p>Balança Dinâmica</p>				
F50	Consolidar e embalar pedido		Etiquetar as embalagens do pedido	 <p>Manual</p>	 <p>Máquinas de Etiquetagem</p>	 <p>Tecnologias colaborativas</p>				

F51	Consolidar e embalar pedido		Transferir o pedido para área de expedição	 AGV	 Esteira Manual	 Esteira Automática	 Paleteira	 Empilhadeira	 Bins Móveis	 Guiar Lineares
F52	Compartilhar informações da expedição com o cliente		Comunicar ao cliente que o pedido está pronto	 Mensagem Eletrônica	 Plataforma Web Service	 Ligação				
F53	Compartilhar informações da expedição com o cliente		Solicitar dados de coleta	 Mensagem Eletrônica	 Plataforma Web Service	 Ligação				
F54	Receber informações da entrega		Receber informações da hora e veículo de entrega	 Mensagem Eletrônica	 Plataforma Web Service	 Ligação				
F55	Receber informações da entrega		Receber documentos do entregador	 Mensagem Eletrônica	 Plataforma Web Service	 Ligação				

F56	Receber informações da entrega		Receber características de identificação do entregador	 <p>Mensagem Eletrônica</p>	 <p>Plataforma</p>					
F57	Armazenar informações recebidas		Armazenar informações recebidas	 <p>Pastas Física</p>	 <p>Servidor Local</p>	 <p>Servidor em Nuvem</p>				
F58	Conferir dados do recebimento		Ler e conferir documentos do entregador	 <p>Operador</p>	 <p>Leitura Digital</p>	 <p>Leitor de Iris</p>				
F59	Conferir dados do recebimento		Reconhecer características do entregador	 <p>Operador</p>	 <p>Leitura de digital</p>	 <p>Leitor de Iris</p>				

F60	Conferir dados do recebimento		Ler e conferir NF de remessa	 <p>Operador</p>	 <p>Scanner</p>	 <p>Leitura Digital</p>				
F61	Conferir dados do recebimento		Reconhecer a placa do veículo	 <p>Contato Humano</p>	 <p>Reconhecimento eletrônico</p>	 <p>Reconhecimento por câmera</p>				
F62	Receber o caminhão		Abrir o portão	 <p>Força Humana</p>	 <p>Controle Remoto</p>	 <p>Sinal Digital</p>	 <p>Fechamento Automática</p>			
F63	Receber o caminhão		Fechar o portão	 <p>Força Humana</p>	 <p>Controle Remoto</p>	 <p>Sinal Digital</p>	 <p>Fechamento Automático</p>			

F64	Transferir o pedido para área de coleta	Transferir o pedido para área de coleta	 AGV	 Esteira Manual	 Esteira Automática	 Paleteira	 Empilhadeira	 Bins Móveis	 Guiar Lineares
F65	Colocar o pedido no veículo	Colocar o pedido no veículo	 Operador	 AGV	 Esteira Manual	 Esteira Automática	 Paleteira	 Empilhadeira	
F66	Assinar os documentos de recebimento	Assinar os documentos de recebimento	 Assinatura manual	 Assinatura por digital	 Confirmação por aplicativo				
F67	Entregar a Nota Fiscal	Entregar a Nota Fiscal	 Operador	 Impressora	 Portal de Envio				

F68	Liberar o caminhão		Abrir o portão	  Força Humana	  Controle Remoto	  Sinal Digital	 Fechamento Automático			
F69	Liberar o caminhão		Fechar o portão	  Força Humana	  Controle Remoto	  Sinal Digital	 Fechamento Automático			
F70	Atualizar o Status do processo		Atualizar o Status do processo	  Operador	  Plataforma Web Service					

APÊNDICE 2 – Matriz de Priorização

FUNÇÕES	NOME DAS FUNÇÕES	IMPORTÂNCIA	SOLUÇÃO	NOME DAS SOLUÇÕES	IMPACTO	TENDÊNCIA	ESCALABILIDADE	FATOR FINAL
1	Enviar informações dos produtos e das entregas	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	3	135
1	Enviar informações dos produtos e das entregas	5	S2	Plataforma Web Service	3	5	5	375
1	Enviar informações dos produtos e das entregas	5	S3	Ligação	1	1	1	5
2	Armazenar informações enviadas	5	S1	Pastas Físicas	3	1	1	15
2	Armazenar informações enviadas	5	S2	Pastas em software	3	3	3	135
2	Armazenar informações enviadas	5	S3	Pastas em nuvens	5	5	5	625
3	Ler e conferir os documentos do entregador	3	S1	Contato Humano	1	1	1	3
3	Ler e conferir os documentos do entregador	3	S2	Leitura Digital	5	5	5	375
3	Ler e conferir os documentos do entregador	3	S3	Apresentar por câmeras	3	3	1	27
3	Ler e conferir os documentos do entregador	3	S4	Aproximação por aplicativo	3	5	3	135
4	Reconhecer características do entregador	3	S1	Leitura Facial	3	5	5	225
4	Reconhecer características do entregador	3	S2	Reconhecimento de digital	3	3	3	81
4	Reconhecer características do entregador	3	S3	Reconhecimento de Iris	3	5	3	135
4	Reconhecer características do entregador	3	S4	Contato Humano	1	1	1	3
5	Ler e conferir CI de remessa	3	S1	Contato Humano	1	1	1	3
5	Ler e conferir CI de remessa	3	S2	Reconhecimento digital	5	5	5	375
5	Ler e conferir CI de remessa	3	S3	Apresentar por câmeras	1	1	1	3
6	Reconhecer placa do veículo	3	S1	Contato Humano	1	1	1	3
6	Reconhecer placa do veículo	3	S2	Reconhecimento eletrônico	5	5	5	375
6	Reconhecer placa do veículo	3	S3	Reconhecimento por câmeras	1	3	1	9
7	Abrir o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
7	Abrir o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
7	Abrir o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
7	Abrir o portão	1	S4	Abertura Automática	3	5	3	45
8	Fechar o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
8	Fechar o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
8	Fechar o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
8	Fechar o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
9	Registrar integridade dos lacres do caminhão	5	S1	Check-list Físico	3	1	3	45
9	Registrar integridade dos lacres do caminhão	5	S2	Registro Fotográfico automático	5	5	5	625
9	Registrar integridade dos lacres do caminhão	5	S3	Mensagem	1	1	1	5
9	Registrar integridade dos lacres do caminhão	5	S4	Registro Fotográfico Manual	5	3	3	225
10	Romper lacres	3	S1	Corte manual	3	5	5	225
10	Romper lacres	3	S2	Máquina Automatizada	3	3	1	27
10	Romper lacres	3	S3	Robô Autônomo	3	3	1	27
11	Abrir porta do caminhão	1	S1	Abertura Manual	3	5	5	75
11	Abrir porta do caminhão	1	S2	Robô Autônomo	3	3	3	27
11	Abrir porta do caminhão	1	S3	Mecanismo Colaborativo	3	3	3	27
12	Conferir DI x Físico	5	S1	Conferir visualmente	1	1	5	25
12	Conferir DI x Físico	5	S2	Coletor de Dados	3	3	3	135
12	Conferir DI x Físico	5	S3	Conferência via base de dados XML	5	5	3	375

13	Gerar nota fiscal	3	S1	Manual	1	1	3	9
13	Gerar nota fiscal	3	S2	Sistema ERP	3	3	1	27
14	Conferir nota fiscal x DI	5	S1	Conferir visualmente	1	1	5	25
14	Conferir nota fiscal x DI	5	S2	Leitura Digital	3	3	3	135
14	Conferir nota fiscal x DI	5	S3	Conferência via base de dados XML	5	5	3	375
15	Descarregar o caminhão	3	S1	Força manual	1	1	5	15
15	Descarregar o caminhão	3	S2	Paleteira Manual	1	1	5	15
15	Descarregar o caminhão	3	S3	Esteira Automática	3	3	3	81
15	Descarregar o caminhão	3	S4	Mecanismos de gravidade	3	3	3	81
15	Descarregar o caminhão	3	S5	Guincho Hidráulico "Girafa"	3	1	1	9
15	Descarregar o caminhão	3	S6	Empilhadeira	3	3	5	135
15	Descarregar o caminhão	3	S7	Empilhadeira Autônoma	5	5	1	75
16	Registrar a retirada das cargas	5	S1	Check-list Físico	3	1	5	75
16	Registrar a retirada das cargas	5	S2	Registro Fotográfico automático	5	5	5	625
16	Registrar a retirada das cargas	5	S3	Mensagem	1	1	5	25
16	Registrar a retirada das cargas	5	S4	Registro Fotográfico Manual	5	3	5	375
17	Comunicar ao cliente a retiradas das cargas	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	225
17	Comunicar ao cliente a retiradas das cargas	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375
17	Comunicar ao cliente a retiradas das cargas	5	S3	Ligação	1	1	5	25
18	Assinar o canhoto do recebimento-entregador	3	S1	Assinatura manual	1	1	5	15
18	Assinar o canhoto do recebimento-entregador	3	S2	Assinatura digital	3	5	3	135
18	Assinar o canhoto do recebimento-entregador	3	S3	Confirmação por aplicativo	5	3	1	45
19	Assinar o canhoto Ascensus	3	S1	Assinatura manual	1	1	5	15
19	Assinar o canhoto Ascensus	3	S2	Assinatura digital	3	5	3	135
19	Assinar o canhoto Ascensus	3	S3	Confirmação por aplicativo	5	3	1	45
20	Abrir o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
20	Abrir o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
20	Abrir o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
20	Abrir o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
21	Fechar o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
21	Fechar o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
21	Fechar o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
21	Fechar o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
22	Transportar material para área restrita	3	S1	AGV	1	5	1	15
22	Transportar material para área restrita	3	S2	Esteira Manual	3	3	3	81
22	Transportar material para área restrita	3	S3	Esteira Automática	3	3	3	81
22	Transportar material para área restrita	3	S4	Paleteira	5	3	3	135
22	Transportar material para área restrita	3	S5	Empilhadeira	5	3	3	135
22	Transportar material para área restrita	3	S6	Guias Lineares	5	5	3	225
22	Transportar material para área restrita	3	S7	Guias por indução elétrica	3	5	3	135
23	Confirmar material na área restrita	1	S1	Documentação Manual	1	1	5	5
23	Confirmar material na área restrita	1	S2	Check eletrônico	3	3	5	45
23	Confirmar material na área restrita	1	S3	Sensor de presença	5	5	5	125
24	Abrir volumes	1	S1	Força manual	3	3	5	45
24	Abrir volumes	1	S2	Mecanismo Colaborativo	3	3	3	27
24	Abrir volumes	1	S3	Braço Robótico	3	1	1	3

25	Retirar itens da caixa	1	S1	Força manual	3	5	5	75
25	Retirar itens da caixa	1	S2	Mecanismo Colaborativo	3	5	3	45
25	Retirar itens da caixa	1	S3	Braço Robótico operável	3	5	3	45
25	Retirar itens da caixa	1	S4	Braço Autônomo	5	3	1	15
26	Confirmar itens recebidos	3	S1	Documentação Manual	1	1	5	15
26	Confirmar itens recebidos	3	S2	Check eletrônico	3	3	5	135
26	Confirmar itens recebidos	3	S3	Sensor de presença	3	1	3	27
26	Confirmar itens recebidos	3	S4	Operação assistida	1	3	5	45
26	Confirmar itens recebidos	3	S5	Coletor de dados por aplicativo	5	5	3	225
27	Separar itens do mesmo kit para montagem	5	S1	Força manual	1	1	5	25
27	Separar itens do mesmo kit para montagem	5	S2	Mecanismo Colaborativo	3	5	3	225
27	Separar itens do mesmo kit para montagem	5	S3	Braço Robótico	3	3	3	135
27	Separar itens do mesmo kit para montagem	5	S4	Braço Autônomo	5	5	1	125
28	Transferir itens para área de montagem	3	S1	AGV	1	5	1	15
28	Transferir itens para área de montagem	3	S2	Esteira Manual	5	3	5	225
28	Transferir itens para área de montagem	3	S3	Esteira Automática	5	3	5	225
28	Transferir itens para área de montagem	3	S4	Paleteira	3	1	5	45
28	Transferir itens para área de montagem	3	S5	Empilhadeira	3	1	5	45
28	Transferir itens para área de montagem	3	S6	Bins Móveis	5	5	5	375
29	Confirmar dados dos Kits	3	S1	Documentação Manual	1	1	5	15
29	Confirmar dados dos Kits	3	S2	Check eletrônico	3	3	3	81
29	Confirmar dados dos Kits	3	S3	Operação assistida	3	1	1	9
30	Confirmar chegada na linha de montagem	3	S1	Documentação manual	1	1	5	15
30	Confirmar chegada na linha de montagem	3	S2	Documentação eletrônica	3	5	3	135
30	Confirmar chegada na linha de montagem	3	S3	Sensores	3	3	3	81
30	Confirmar chegada na linha de montagem	3	S4	Operação Remota	1	1	1	3
31	Montar Kit	5	S1	Força manual	1	1	5	25
31	Montar Kit	5	S2	Braço robótico com controle	3	3	3	135
31	Montar Kit	5	S3	Braço Autônomo	5	5	3	375
31	Montar Kit	5	S4	Pick by light	5	5	5	625
31	Montar Kit	5	S5	Pick by vision	5	5	3	375
32	Etiquetar Kit	3	S1	Força manual	1	1	5	15
32	Etiquetar Kit	3	S2	Máquina de Etiquetagem	5	5	5	375
32	Etiquetar Kit	3	S3	Braço Autônomo	5	3	1	45
33	Confirmar Montagem do Kit	3	S1	Documentação Manual	1	1	5	15
33	Confirmar Montagem do Kit	3	S2	Check eletrônico	3	5	5	225
33	Confirmar Montagem do Kit	3	S3	Sensor de presença	5	5	5	375
33	Confirmar Montagem do Kit	3	S4	Operação assistida	3	1	1	9
34	Cadastrar o kit no WMS	5	S1	Comunicação manual	1	1	5	25
34	Cadastrar o kit no WMS	5	S2	Algoritmo de endereçamento	5	5	3	375
35	Transferir kit para o cofre	3	S1	AGV	3	5	1	45
35	Transferir kit para o cofre	3	S2	Esteira Manual	3	3	5	135
35	Transferir kit para o cofre	3	S3	Esteira Automática	5	5	3	225
35	Transferir kit para o cofre	3	S4	Paleteira	1	1	5	15
35	Transferir kit para o cofre	3	S5	Empilhadeira	1	1	5	15
35	Transferir kit para o cofre	3	S6	Bins Móveis	1	1	5	15

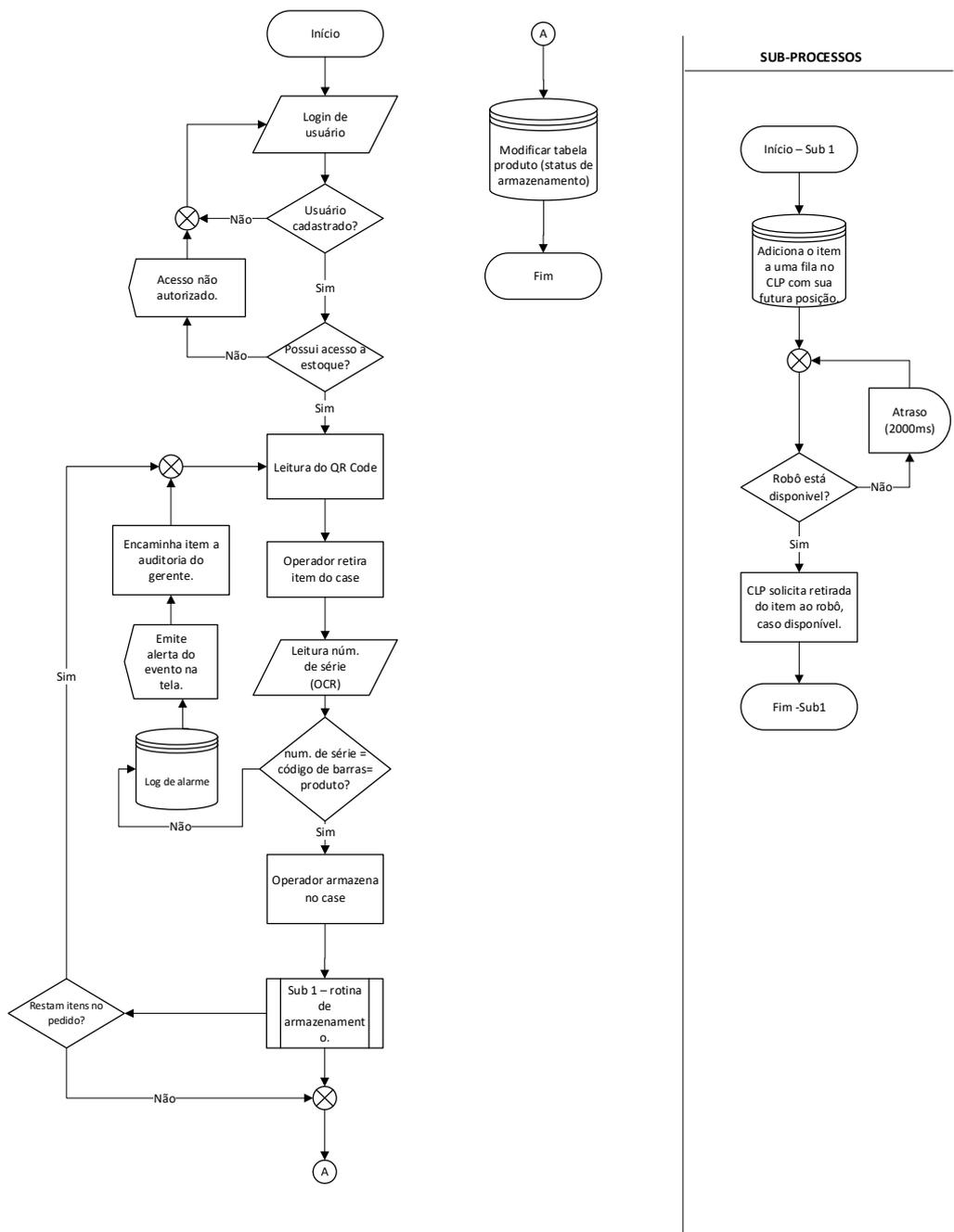
36	Colocar o kit no endereço destinado	5	S1	Força manual	1	1	5	25
36	Colocar o kit no endereço destinado	5	S2	Miniload	5	5	3	375
36	Colocar o kit no endereço destinado	5	S3	Carrossel	5	3	3	225
37	Confirmar armazenamento do kit	3	S1	Documentação Manual	1	1	5	15
37	Confirmar armazenamento do kit	3	S2	Check eletrônico	3	5	5	225
37	Confirmar armazenamento do kit	3	S3	Sensor de presença	5	5	3	225
37	Confirmar armazenamento do kit	3	S4	Operação remota	1	1	1	3
38	Receber pedidos	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	225
38	Receber pedidos	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375
38	Receber pedidos	5	S3	Ligação	1	1	5	25
39	Processar pedidos recebidos	3	S1	Consulta manual	1	1	5	15
39	Processar pedidos recebidos	3	S2	Consulta com o auxílio de softwares	3	5	5	225
39	Processar pedidos recebidos	3	S3	Algoritmo automático	5	5	1	75
40	Consultar endereçamento dos kits no cofre e criar Picking List	5	S1	Atividade Manual	1	1	5	25
40	Consultar endereçamento dos kits no cofre e criar Picking List	5	S2	Criação em softwares tradicionais	3	3	3	135
40	Consultar endereçamento dos kits no cofre e criar Picking List	5	S3	Criação em softwares colaborativos (WMS)	5	5	3	375
40	Consultar endereçamento dos kits no cofre e criar Picking List	5	S4	Algoritmo automático	5	5	1	125
41	Buscar kits armazenados no cofre	5	S1	Força manual	1	1	5	25
41	Buscar kits armazenados no cofre	5	S2	Miniload	5	5	3	375
41	Buscar kits armazenados no cofre	5	S3	Carrossel	5	3	3	225
42	Confirmar retirada de kits do cofre	5	S1	Documentação Manual	1	1	3	15
42	Confirmar retirada de kits do cofre	5	S2	Check eletrônico	3	5	5	375
42	Confirmar retirada de kits do cofre	5	S3	Sensor de presença	5	5	1	125
42	Confirmar retirada de kits do cofre	5	S4	Operação remota	1	1	1	5
42	Confirmar retirada de kits do cofre	5	S5	RFID	5	5	5	625
43	Levar kits para área de consolidação	3	S1	AGV	3	5	1	45
43	Levar kits para área de consolidação	3	S2	Esteira Manual	3	3	5	135
43	Levar kits para área de consolidação	3	S3	Esteira Automática	5	5	3	225
43	Levar kits para área de consolidação	3	S4	Paleteira	1	1	5	15
43	Levar kits para área de consolidação	3	S5	Empilhadeira	1	1	5	15
43	Levar kits para área de consolidação	3	S6	Bins Móveis	1	1	5	15
43	Levar kits para área de consolidação	3	S7	Produto sair pela janela	3	3	5	135
44	Registrar itens na área de consolidação	3	S1	Registro manual	1	1	5	15
44	Registrar itens na área de consolidação	3	S2	Sensores	5	5	3	225
44	Registrar itens na área de consolidação	3	S3	Operação assistida	1	1	1	3
45	Escolher embalagem do pedido	3	S1	Manual	1	1	5	15
45	Escolher embalagem do pedido	3	S2	Software Colaborativo	5	5	3	225
45	Escolher embalagem do pedido	3	S3	Algoritmo Autônomo	5	5	1	75
46	Montar as embalagens do pedido	3	S1	Manual	1	1	5	15
46	Montar as embalagens do pedido	3	S2	Braço monta caixa	5	3	1	45
46	Montar as embalagens do pedido	3	S3	Mecanismo em esteira	5	3	3	135
46	Montar as embalagens do pedido	3	S4	Mecanismo colaborativo	1	5	3	45
47	Consolidar o pedido	3	S1	Manual	1	1	5	15
47	Consolidar o pedido	3	S2	Braço monta pedido	5	3	1	45
47	Consolidar o pedido	3	S3	Tecnologias colaborativas	3	3	3	81

48	Fechar a embalagem do pedido	1	S1	Manual	1	1	5	5
48	Fechar a embalagem do pedido	1	S2	Braço monta caixa	5	3	1	15
48	Fechar a embalagem do pedido	1	S3	Mecanismo em esteira	5	3	3	45
48	Fechar a embalagem do pedido	1	S4	Mecanismo colaborativo	3	3	3	27
49	Checar o pedido montado	3	S1	Manual	1	1	5	15
49	Checar o pedido montado	3	S2	Softwares colaborativa	3	5	1	45
49	Checar o pedido montado	3	S3	Balança Dinâmica	3	3	3	81
50	Etiquetar as embalagens do pedido	3	S1	Manual	1	1	5	15
50	Etiquetar as embalagens do pedido	3	S2	Máquinas de Etiquetagem	5	5	5	375
50	Etiquetar as embalagens do pedido	3	S3	Tecnologias colaborativas	3	5	3	135
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S1	AGV	1	5	1	15
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S2	Esteira Manual	3	3	3	81
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S3	Esteira Automática	3	3	3	81
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S4	Paleteira	3	3	5	135
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S5	Empilhadeira	3	3	3	81
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S6	Guias por indução elétrica	3	5	3	135
51	Transferir o pedido para área de expedição	3	S7	Guias Lineares	5	5	3	225
52	Comunicar ao cliente que o pedido está pronto	3	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	135
52	Comunicar ao cliente que o pedido está pronto	3	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	225
52	Comunicar ao cliente que o pedido está pronto	3	S3	Ligação	1	1	5	15
53	Solicitar dados de coleta	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	225
53	Solicitar dados de coleta	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375
53	Solicitar dados de coleta	5	S3	Ligação	1	1	5	25
54	Receber informações da hora e veículo de entrega	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	225
54	Receber informações da hora e veículo de entrega	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375
54	Receber informações da hora e veículo de entrega	5	S3	Ligação	1	1	5	25
55	Receber documentos do entregador	5	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	5	225
55	Receber documentos do entregador	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375
55	Receber documentos do entregador	5	S3	Ligação	1	1	5	25
56	Receber características de identificação do entregador	3	S1	Mensagem Eletrônica	3	3	3	81
56	Receber características de identificação do entregador	3	S2	Plataforma	5	5	3	225
57	Armazenar informações recebidas	3	S1	Pastas Física	1	1	1	3
57	Armazenar informações recebidas	3	S2	Servidor Local	3	3	3	81
57	Armazenar informações recebidas	3	S3	Servidor em Nuvem	5	5	5	375
58	Ler e conferir documentos do entregador	3	S1	Operador	1	1	1	3
58	Ler e conferir documentos do entregador	3	S2	Leitura Digital	5	5	5	375
58	Ler e conferir documentos do entregador	3	S3	Leitor de Iris	3	3	1	27
59	Reconhecer características do entregador	3	S1	Operador	1	1	1	3
59	Reconhecer características do entregador	3	S2	Leitura digital	5	5	5	375
59	Reconhecer características do entregador	3	S3	Leitor de Iris	3	3	1	27
60	Ler e conferir NF de remessa	3	S1	Operador	1	1	1	3
60	Ler e conferir NF de remessa	3	S2	Scanner	5	5	5	375
60	Ler e conferir NF de remessa	3	S3	Leitura Digital	3	3	1	27
61	Reconhecer a placa do veículo	3	S1	Contato Humano	1	1	1	3
61	Reconhecer a placa do veículo	3	S2	Reconhecimento eletrônico	5	5	5	375
61	Reconhecer a placa do veículo	3	S3	Reconhecimento por câmera	1	3	1	9

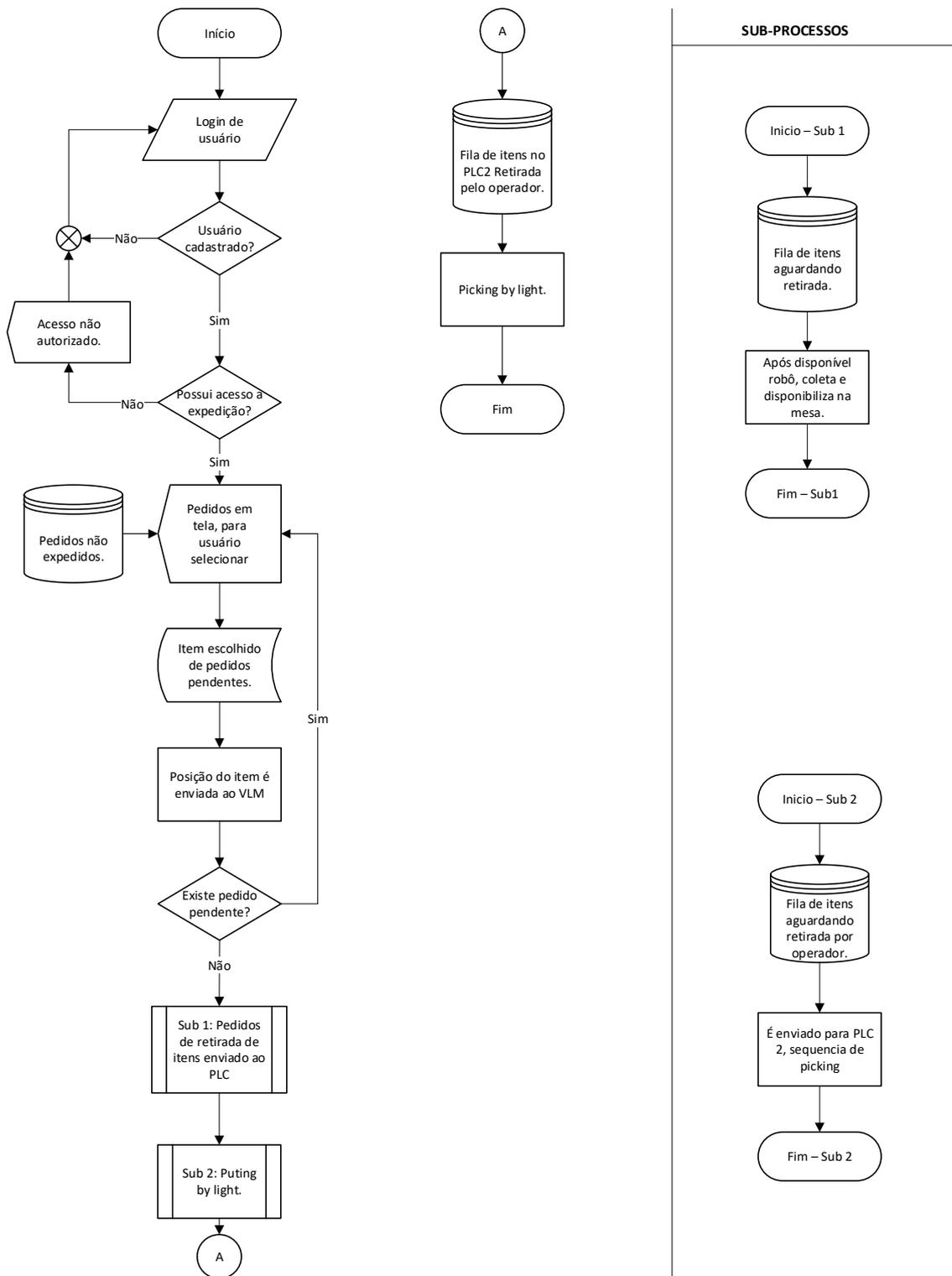
62	Abrir o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
62	Abrir o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
62	Abrir o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
62	Abrir o portão	1	S4	Fechamento Automática	3	5	3	45
63	Fechar o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
63	Fechar o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
63	Fechar o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
63	Fechar o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S1	AGV	1	5	1	15
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S2	Esteira Manual	3	3	3	81
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S3	Esteira Automática	3	3	3	81
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S4	Paleteira	3	3	5	135
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S5	Empilhadeira	3	3	3	81
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S6	Guias por indução elétrica	3	5	3	135
64	Transferir o pedido para área de coleta	3	S7	Guias Lineares	5	5	3	225
65	Colocar o pedido no veículo	3	S1	Operador	3	3	5	135
65	Colocar o pedido no veículo	3	S2	AGV	3	3	1	27
65	Colocar o pedido no veículo	3	S3	Esteira Manual	3	3	3	81
65	Colocar o pedido no veículo	3	S4	Esteira Automática	3	3	3	81
65	Colocar o pedido no veículo	3	S5	Paleteira	5	3	5	225
65	Colocar o pedido no veículo	3	S6	Empilhadeira	1	3	3	27
66	Assinar os documentos de recebimento	3	S1	Assinatura manual	1	1	5	15
66	Assinar os documentos de recebimento	3	S2	Assinatura por digital	3	5	3	135
66	Assinar os documentos de recebimento	3	S3	Confirmação por aplicativo	5	3	1	45
67	Entregar a Nota Fiscal	3	S1	Operador	1	1	5	15
67	Entregar a Nota Fiscal	3	S2	Impressora	3	3	5	135
67	Entregar a Nota Fiscal	3	S3	Portal de Envio	5	5	3	225
68	Abrir o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
68	Abrir o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
68	Abrir o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
68	Abrir o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
69	Fechar o portão	1	S1	Força Humana	1	1	5	5
69	Fechar o portão	1	S2	Controle Remoto	5	5	5	125
69	Fechar o portão	1	S3	Sinal Digital	3	5	3	45
69	Fechar o portão	1	S4	Fechamento Automático	3	5	3	45
70	Atualizar o Status do processo	5	S1	Operador	1	1	5	25
70	Atualizar o Status do processo	5	S2	Plataforma Web Service	5	5	3	375

APÊNDICE 3 - Fluxograma de Programação

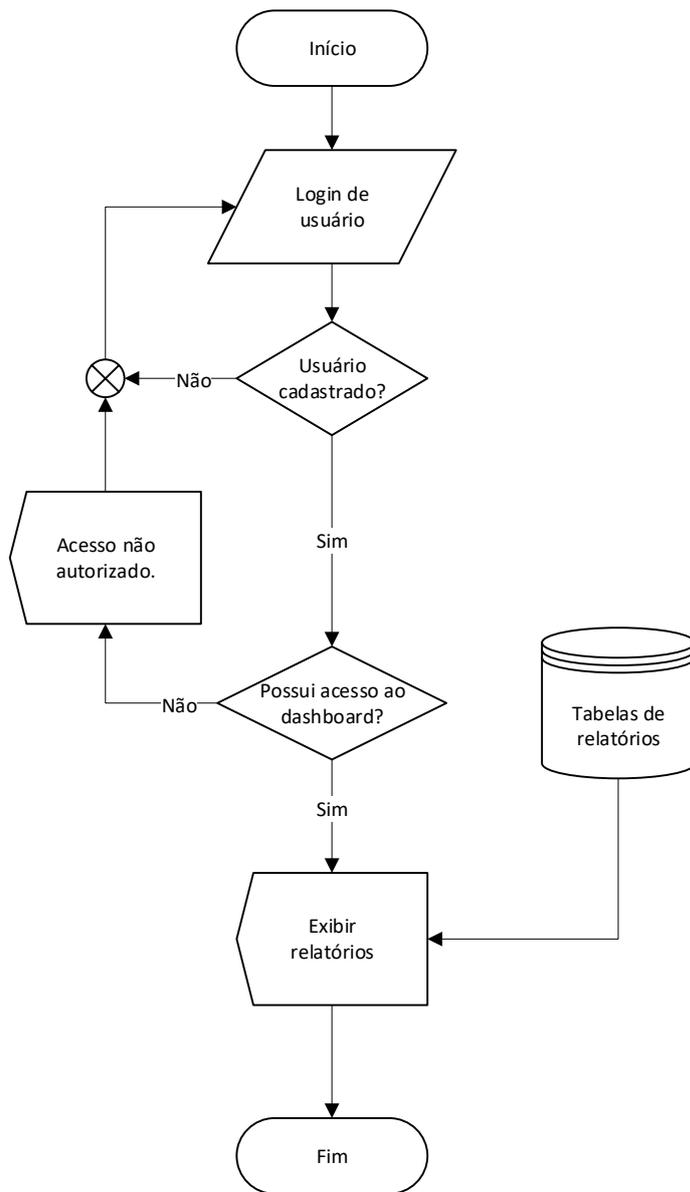
ENTRADA DE ITENS - INBOUND



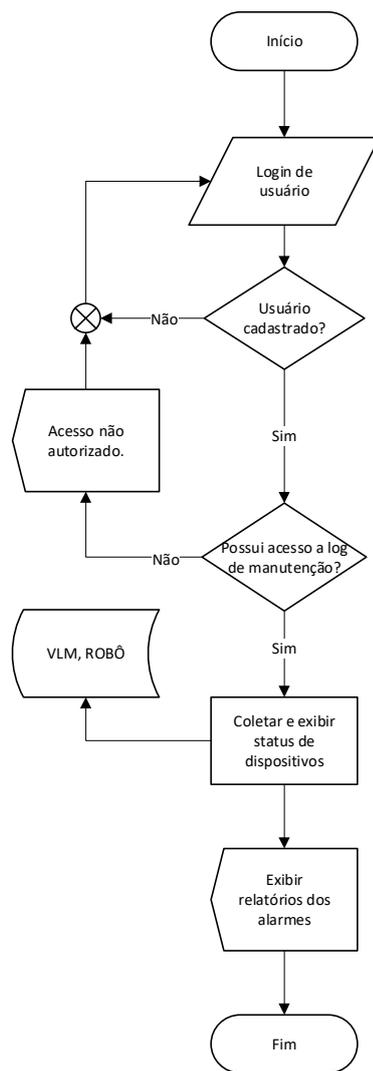
SAÍDA DE ITENS - OUTBOUND



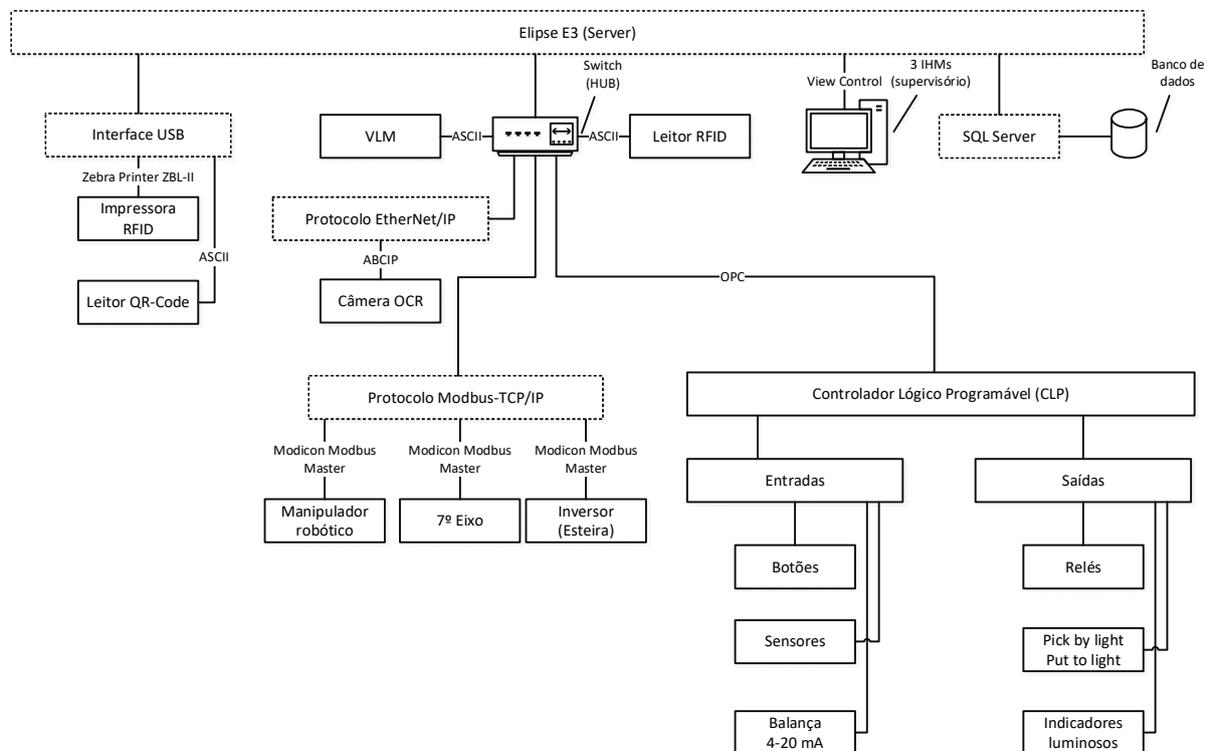
RELATÓRIOS - DASHBOARD



LOG DE MANUTENÇÃO



APÊNDICE 4 - Arquitetura de Automação



APÊNDICE 5 - Relação de entradas e saídas

EQUIPAMENT O	SLO T	Nº	ALIAS	IDENTIFICAÇÃ O	DESCRIÇÃ O	SERVIÇO	STATUS	LOCAL	SINA L	CABOS
CLP	0	100	SS_EST_01	SS-EST-01	Sensor esteira 1	Sensor óptico adicionado na entrada	1 = item detectado	Painel de Comand o	DI	SS-EST-01
CLP	0	101	SS_EST_02	SS-EST-02	Sensor esteira 2	Sensor óptico adicionado na saída	1 = item detectado	Painel de Comand o	DI	SS-EST-02
CLP	0	102	BT_ESTEIRA	BT-ESTEIRA	Botão de emergência para esteira	Botão para desligament o forçado	1 = Esteira desligada	Painel de Comand o	DI	BT-ESTEIRA
CLP	0	103	BT_ROBÔ_1	BT-ROBÔ-01	Botão comando robô 1	Botão de inicialização do robô	1 = Robô ligado	Painel de Comand o	DI	BT-ROBÔ-01
CLP	0	104	BT_ROBÔ_2	BT-ROBÔ-02	Botão comando robô 2	Botão de emergência do robô	1 = Robô desligado	Painel de Comand o	DI	BT-ROBÔ-02
CLP	0	105	BT_ROBÔ_3	BT-ROBÔ-03	Botão comando robô 3	Botão de emergência garra robótica	1 = Garra "desligada "	Painel de Comand o	DI	BT-ROBÔ-03
CLP	0	106	IL_BARREIRA	IL-BARREIRA	Acionament o barreira de luz	Liga e desliga a iluminação	1 = Barreira ligada	Painel de Comand o	DI	IL-BARREIRA
CLP	0	107	BT_START	BT-START	Botão de iniciaização geral	Botão de start geral	1 = Sistema ligado	Painel de Comand o	DI	BT-START
CLP	0	108	BT_STOP	BT-STOP	Botão de desligament o geral	Botão de stop geral	1 = Sistema desligado	Painel de Comand o	DI	BT-STOP
CLP	0	109	BT_RESET	BT-RESET	Botão de reset geral	botao de reset geral	1 = Sistema reiniciado	Painel de Comand o	DI	BT-RESET
CLP	0	109	BT_RESET	BT-RESET	Botão de reset geral	botao de reset geral	1 = Sistema reiniciado	Painel de Comand o	DI	BT-RESET
CLP	0	110	IN_R0BÔ-1	IN-ROBÔ-1	Recebiment o de sinal do robô	Recebiment o de sinal do robô	-	Painel de Comand o	DI	IN-ROBÔ-1
CLP	0	111	IN_R0BÔ-2	IN-ROBÔ-2	Recebiment o de sinal do robô	Recebiment o de sinal do robô	-	Painel de Comand o	DI	IN-ROBÔ-2
CLP	0	112	IN_R0BÔ-3	IN-ROBÔ-3	Recebiment o de sinal do robô	Recebiment o de sinal do robô	-	Painel de Comand o	DI	IN-ROBÔ-3
CLP	0	113	IN_R0BÔ-4	IN-ROBÔ-4	Recebiment o de sinal do robô	Recebiment o de sinal do robô	-	Painel de Comand o	DI	IN-ROBÔ-4

CLP	0	I14	BT_EMERGÊNCI A	BT- EMERGÊNCIA	Botão de emergência geral	botao de emergência geral	1 = Sistema desligado	Painel de Comand o	DI	BT- EMERGÊNCI A
CLP	0	I15	SSR_01	SSR-01	Relé de segurança (NR-12)	Segurança da célula	1 = Sistema desligado	Painel de Comand o	DI	BT- EMERGÊNCI A
CLP	0	AI 0	BAL_01	BAL-01	Balança 4- 20 mA	Medição do peso dos produtos	--	Bancada	AI	BAL-01
CLP Remoto	0	I00	SS_BIN_01	SS-BIN-01	Sensor bin 1	Sensor de proximidade no bin 1	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-01
CLP Remoto	0	I01	SS_BIN_02	SS-BIN-02	Sensor bin 2	Sensor de proximidade no bin 2	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-02
CLP Remoto	0	I02	SS_BIN_03	SS-BIN-03	Sensor bin 3	Sensor de proximidade no bin 3	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-03
CLP Remoto	0	I03	SS_BIN_04	SS-BIN-04	Sensor bin 4	Sensor de proximidade no bin 4	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-04
CLP Remoto	0	I04	SS_BIN_05	SS-BIN-05	Sensor bin 5	Sensor de proximidade no bin 5	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-05
CLP Remoto	0	I05	SS_BIN_06	SS-BIN-06	Sensor bin 6	Sensor de proximidade no bin 6	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-BIN-06
CLP Remoto	0	I06	SS_FR_01	SS-FR-01	Sensor flow- rack 1	Sensor de proximidade Put-to-light	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-FR-01
CLP Remoto	0	I07	SS_FR_02	SS-FR-02	Sensor flow- rack 2	Sensor de proximidade Put-to-light	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-FR-02
CLP Remoto	0	I08	SS_FR_03	SS-FR-03	Sensor flow- rack 3	Sensor de proximidade Pick-by-light	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-FR-03
CLP Remoto	0	I09	SS_FR_04	SS-FR-04	Sensor flow- rack 4	Sensor de proximidade Pick-by-light	1 = Presença detectada	Bancada	DI	SS-FR-04

EQUIPAMENT O	SLO T	Nº	ALIAS	IDENTIFICAÇÃ O	DESCRIÇÃ O	SERVIÇO	STATUS	LOCAL	SINA L	CABO
CLP	0	Q0 0	IL_EST	IL-EST	Iluminação esteira	Indicação de erro na esteira	1 =LED aceso	Painel de Comand o	DO	IL-EST
CLP	0	Q0 1	CM_ROBÔ_0 1	CM-ROBÔ-01	Comando robô 1	Inicialização do robô	1 =Robô em funcionament o	Painel de Comand o	DO	CM- ROBÔ -01
CLP	0	Q0 2	CM_ROBÔ_0 2	CM-ROBÔ-02	Comando robô 2	Desligament o forçado do robô	1 = Robô desligado	Painel de Comand o	DO	CM- ROBÔ -02
CLP	0	Q0 3	CM_ROBÔ_0 3	CM-ROBÔ-03	Comando robô 3	Acionamento manual da garra	1 = garra "fechada"	Painel de Comand o	DO	CM- ROBÔ -03
CLP	0	Q0 4	CM_ROBÔ_0 4	CM-ROBÔ-04	Comando robô 4	-	-	Painel de Comand o	DO	CM- ROBÔ -04
CLP	0	Q0 5	RESERVA	RESERVA	-	-	-	Painel de Comand o	DO	-
CLP	0	Q0 6	RESERVA	RESERVA	-	-	-	Painel de Comand o	DO	-
CLP	0	Q0 7	RESERVA	RESERVA	-	-	-	Painel de Comand o	DO	-

CLP	0	Q0 4	IL_ROBÔ_01	IL-ROBÔ-01	Sinaleiro robô 1	Indicação do status de operação do robô	--	Bancada	DO	IL- ROBÔ -01
CLP	0	Q0 5	IL_ROBÔ_02	IL-ROBÔ-02	Sinaleiro robô 2	Indicação do status de operação do robô	--	Bancada	DO	IL- ROBÔ -02
CLP	0	Q0 6	IL_ROBÔ_03	IL-ROBÔ-03	Sinaleiro robô 3	Indicação do status de operação do robô	--	Bancada	DO	IL- ROBÔ -03
CLP	0	Q0 7	IL_ROBÔ_04	IL-ROBÔ-04	Sinaleiro robô 4	Indicação do status de operação do robô	--	Bancada	DO	IL- ROBÔ -04
CLP	0	Q1 2	SSR_02	SSR-02	Solenóide Ventosa	Acionamento da garra	Acionamento da garra	Painel de Comand o	DO	SSR- 02
CLP	0	Q1 3	SSR_03	SSR-03	Solenóide Soprador	Acionamento da garra	Acionamento da garra	Painel de Comand o	DO	SSR- 02
CLP Remoto	0	Q0 0	PUT_01	PUT-01	Put-to-light 01	Indicador Put-to-light	1 = Item a ser adicionado no respectivo bin	Bancada	DO	PUT- 01
CLP Remoto	0	Q0 1	PUT_02	PUT-02	Put-to-light 02	Indicador Put-to-light	2 = Item a ser adicionado no respectivo bin	Bancada	DO	PUT- 02
CLP Remoto	0	Q0 2	PUT_03	PUT-03	Put-to-light 03	Indicador Put-to-light	3 = Item a ser adicionado no respectivo bin	Bancada	DO	PUT- 03
CLP Remoto	0	Q0 3	PIC_01	PIC-01	Pick-by-light 01	Indicador Pick-by-light	1 = Item a ser retirado no respectivo bin	Bancada	DO	PIC-01
CLP Remoto	0	Q0 4	PIC_02	PIC-02	Pick-by-light 02	Indicador Pick-by-light	1 = Item a ser retirado no respectivo bin	Bancada	DO	PIC-02
CLP Remoto	0	Q0 5	PIC_03	PIC-03	Pick-by-light 03	Indicador Pick-by-light	1 = Item a ser retirado no respectivo bin	Bancada	DO	PIC-03
CLP Remoto	0	Q0 6	FR_01	FR-01	Sinalizador flow-rack 1	Indicador Put-to-light	1 = Item a ser adicionado no respectivo flow-rack	Bancada	DO	FR-01
CLP Remoto	0	Q0 7	FR_02	FR-02	Sinalizador flow-rack 2	Indicador Put-to-light	1 = Item a ser adicionado no respectivo flow-rack	Bancada	DO	FR-02
CLP Remoto	0	Q0 8	FR_03	FR-03	Sinalizador flow-rack 3	Indicador Pick-by-light	1 = Item a ser retirado no respectivo flow-rack	Bancada	DO	FR-03
CLP Remoto	0	Q0 9	FR_04	FR-04	Sinalizador flow-rack 4	Indicador Pick-by-light	1 = Item a ser retirado no respectivo flow-rack	Bancada	DO	FR-04

APÊNDICE 6 - Lista de Cargas

TAG.	TAG.	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS				
LOCALIZAÇÃO	EQUIP.		POT	UND.	Vn	FP.	I (A)
PAINEL	PS-01*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/24V 240W	575	W	220VAC	--	2,50
PAINEL	PS-02*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/48V 1600W	1870	W	220VAC	--	8,50
PAINEL	BAN-01*	ALIMENTAÇÃO DA BANCADA	870,6	W	220VAC	--	4,12
PAINEL	ILU-01	ILUMINAÇÃO BANCADA	180,00	W	220VAC		0,82
CEL. ROB.	RM-01	MANIPULADOR ROBÓTICO	1400	W	220VAC	--	5,83
CEL. ROB.	EST-01	ESTEIRA MOTORIZADA	120	W	220VAC	--	1
PAINEL	PROTÓTIPO	POTÊNCIA TOTAL	5,0156	kW	220VAC	--	22,77
BANCADA							
BANCADA	PS-03*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/24V 5A	575	W	220VAC	--	2,50
BANCADA	SW-01	SWITCH 16 PORTAS (HUB)	3,1	W	220VAC	--	0,02
BANCADA	RFID-01	LEITOR RFID IMPINJ R420	6	W	220VAC	--	0,03
BANCADA	RFID-02	IMPRESSORA RFID ZD500R	5	W	220VAC	--	0,01
BANCADA	IHM-01	MICROCOMPUTADOR OPTIPLEX 3080	90	W	220VAC		0,5
BANCADA	IHM-02	MICROCOMPUTADOR OPTIPLEX 3080	90	W	220VAC	--	0,5
BANCADA	IHM-03	MICROCOMPUTADOR OPTIPLEX 3080	90	W	220VAC	--	0,5
BANCADA	OCR-01	CÂMERA OCR V/F SERIES	4,5	W	220VAC	--	0,02
BANCADA	BAL-01	BALANÇA	7	W	220VAC	--	0,04
PAINEL	BAN-01*	ALIMENTAÇÃO DA BANCADA	870,6	W	220VAC	--	4,12
FONTE VDC - PS-01							
PAINEL	CLP-01	CLP PRINCIPAL	7,2	W	24VDC	--	0,3
CEL. ROB.	RM-03	I/O ROBÔ	36	W	24VDC	--	1,5
CEL. ROB.	RM-03	GARRA ROBÓTICA TM5 900	220	W	24VDC	--	2
BANCADA	OCR-01	CÂMERA OCR V/F SERIES	4,5	W	24VDC	--	0,02
CEL. ROB.	RM-03	DRIVER MOTOR	48	W	24VDC	--	2
PAINEL	PS-01*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/24V	267,7	W	220VAC	--	5,82

FONTE VDC 48 V: PS-02							
CEL. ROB.	RM-02	SÉTIMO EIXO	1248	W	48VDC	--	26
PAINEL	PS-02*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/24V	1248	W	220VAC	--	26,00
FONTE VDC: PS-03							
PAINEL	CLP-02	CLP REMOTO	7,2	W	24VDC	--	0,3
BANCADA	PIC-01	SINALEIROS PICK-TO-LIGHT	3,6	W	24VDC		0,15
BANCADA	PUT-01	SINALEIROS PUT-TO-LIGHT	3,6	W	24VDC	--	0,15
PAINEL	PS-03*	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 220V/24V	14,4	W	220VAC	--	0,60
PAINEL							
PAINEL VLM	VLM-01	VLM	12000	W	220VAC	--	25
EXTERNO	COMP-01	COMPRESSOR DE AR-CSL20BR/200	3728,5	W	220VAC	--	9
PAINEL	PAINEL	PAINEL	15728,5	W	220VAC	--	34,00

APÊNDICE 7

DIAGRAMA ELÉTRICOS

DIAGRAMA ELÉTRICOS UNIFILAR

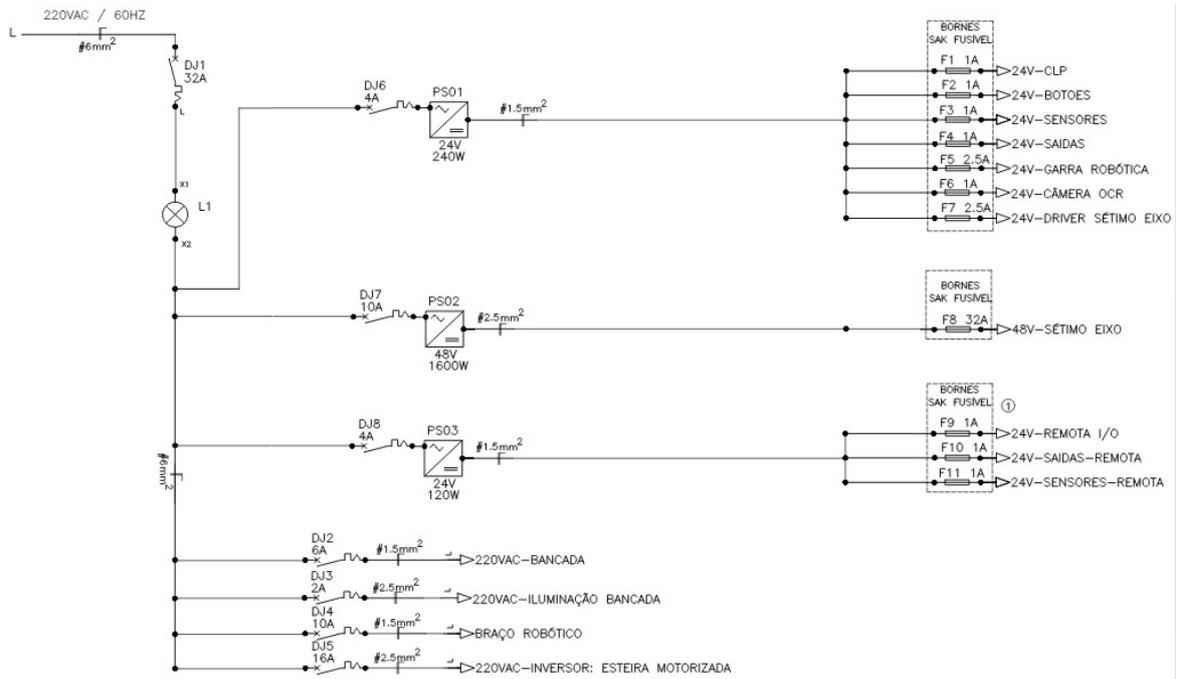


DIAGRAMA ELÉTRICOS UNIFILAR

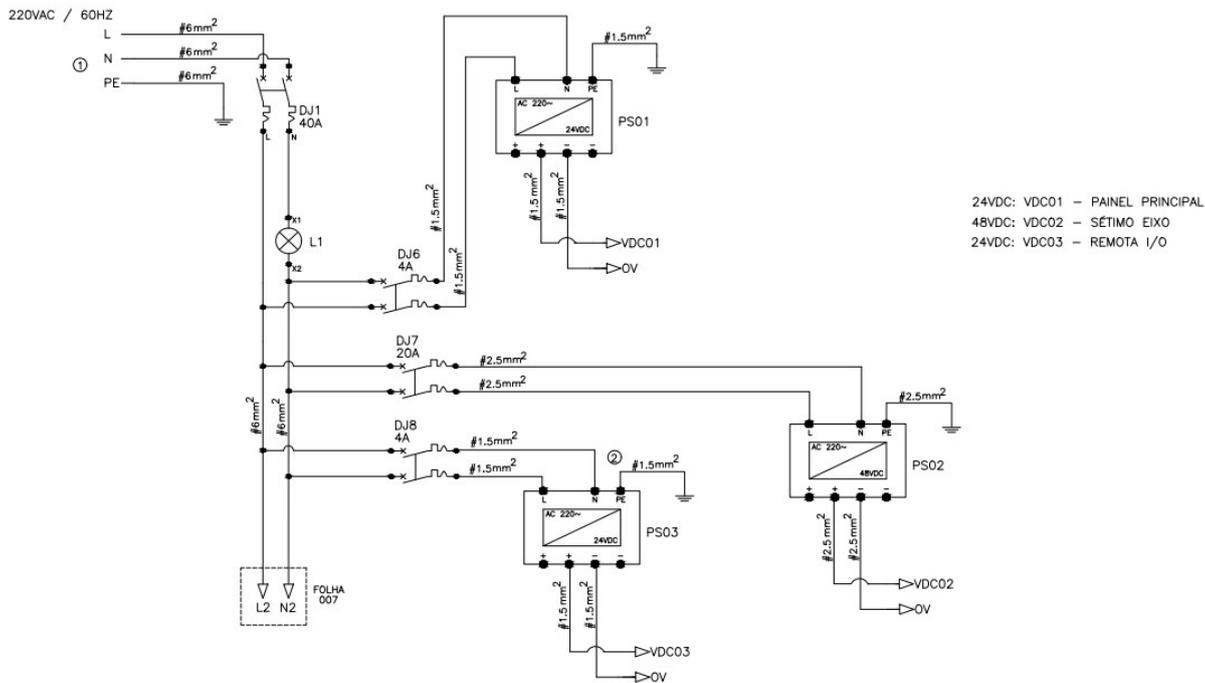


DIAGRAMA ELÉTRICOS - BORNES DE ALIMENTAÇÃO

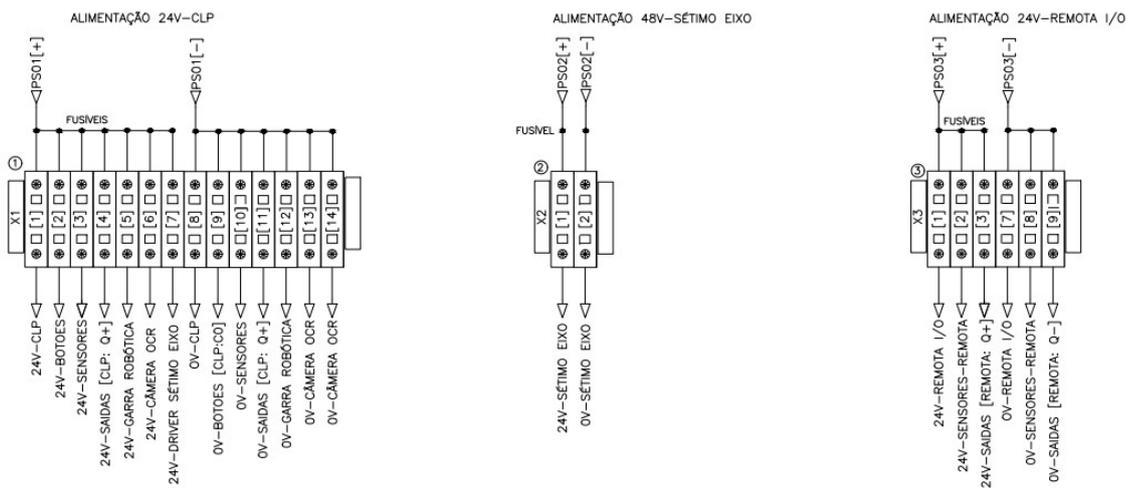


DIAGRAMA ELÉTRICOS - BORNES DE CONTROLE PT.1

CLP XP325 - PRINCIPAL

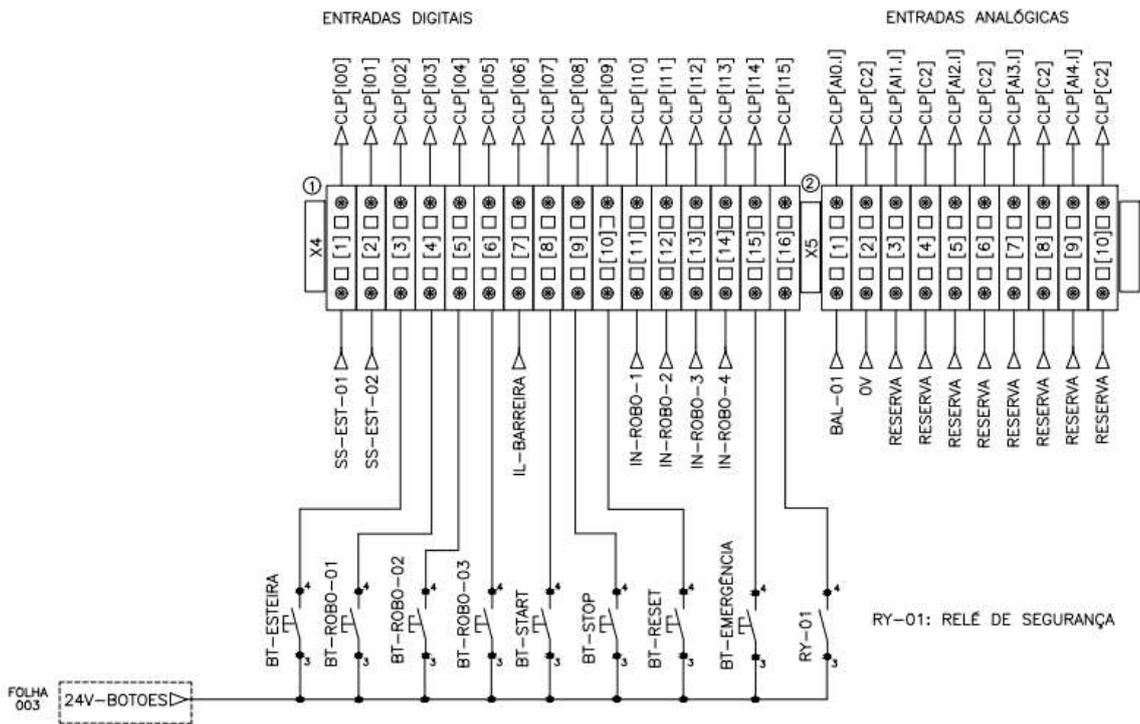


DIAGRAMA ELÉTRICOS - BORNES DE CONTROLE PT.2

CLP XP325 - PRINCIPAL

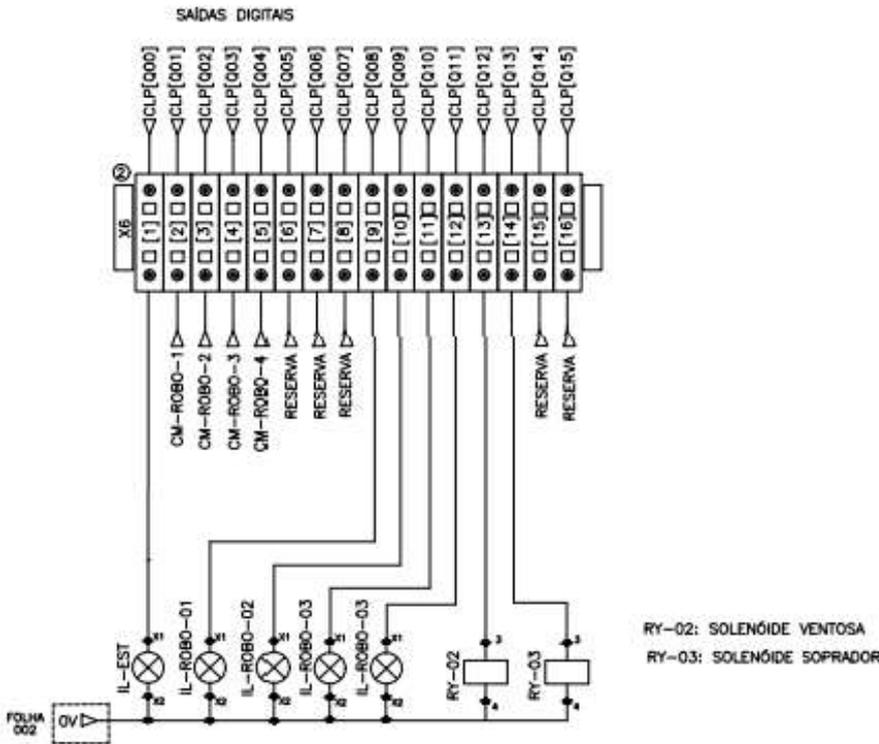


DIAGRAMA ELÉTRICOS - BORNES DE CONTROLE PT.3

CLP XP300 - REMOTA I/O

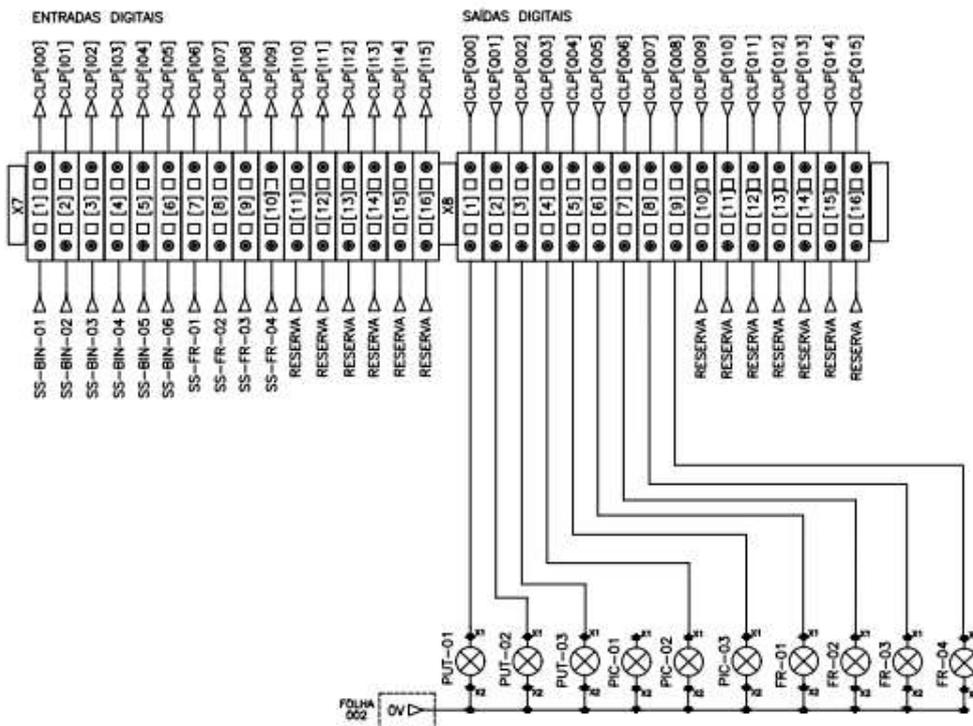


DIAGRAMA ELÉTRICOS - CARGAS 220 VAC

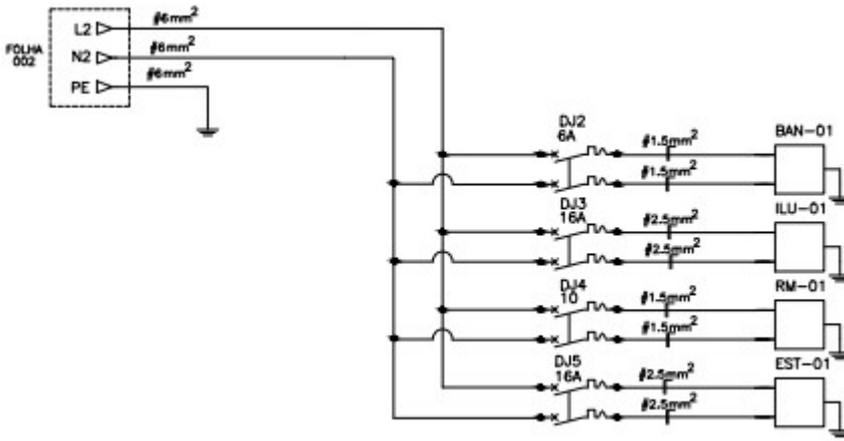


DIAGRAMA ELÉTRICOS - CARGAS 24 VDC

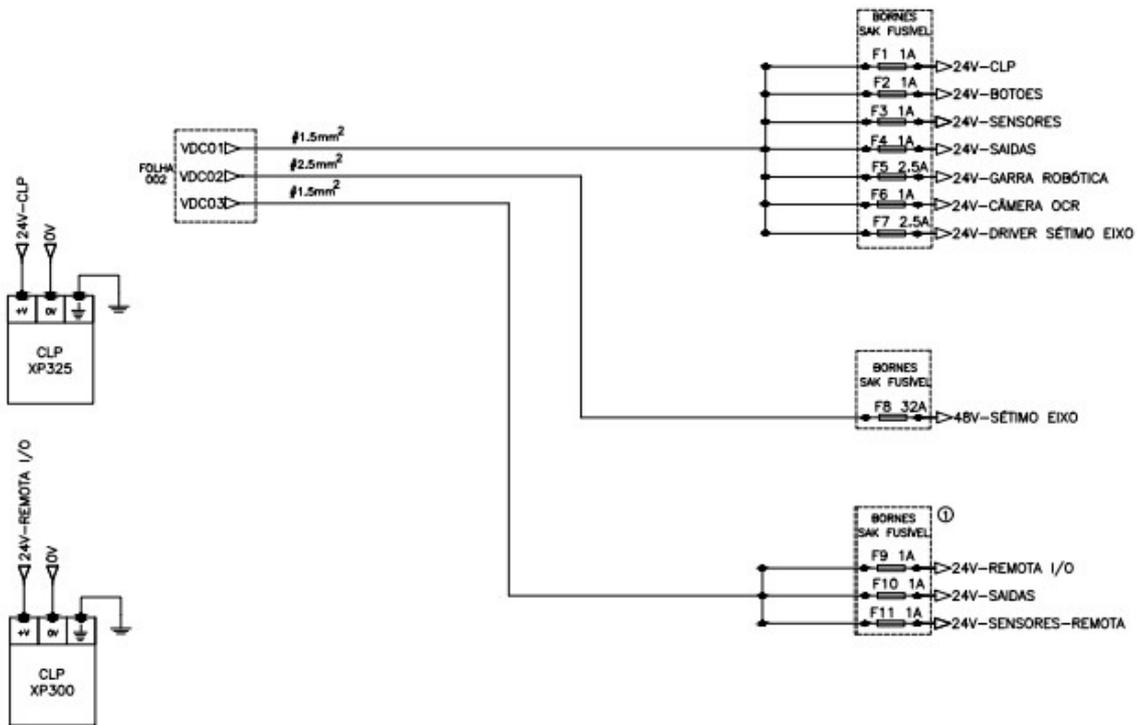
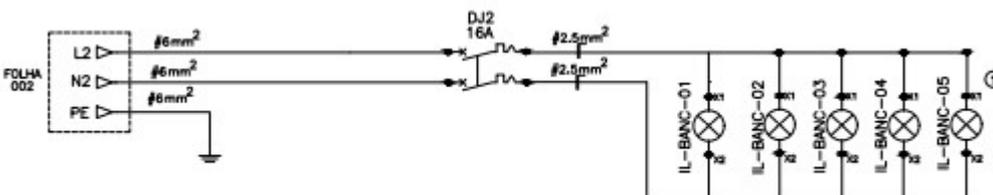
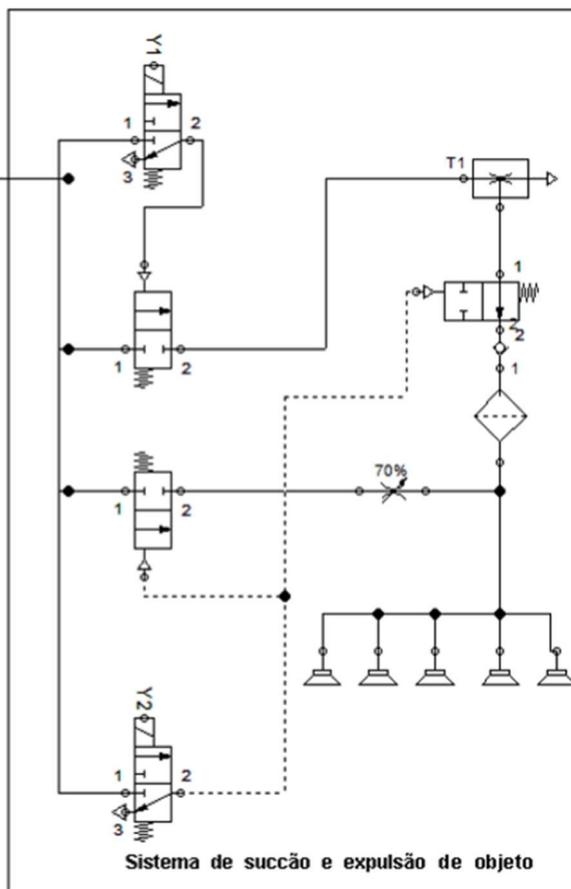
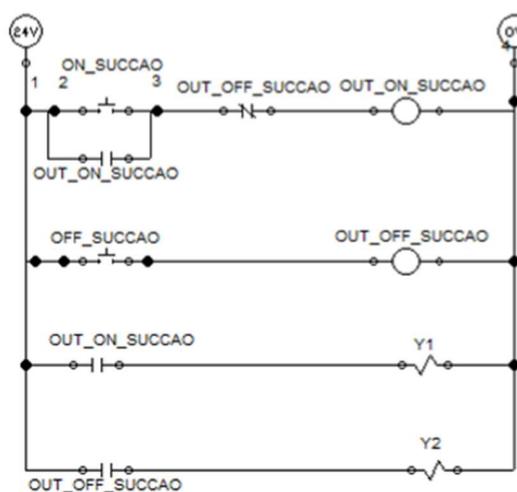
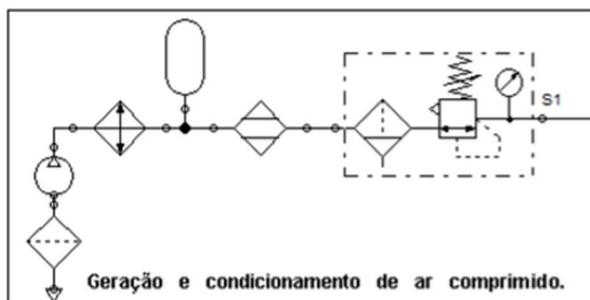


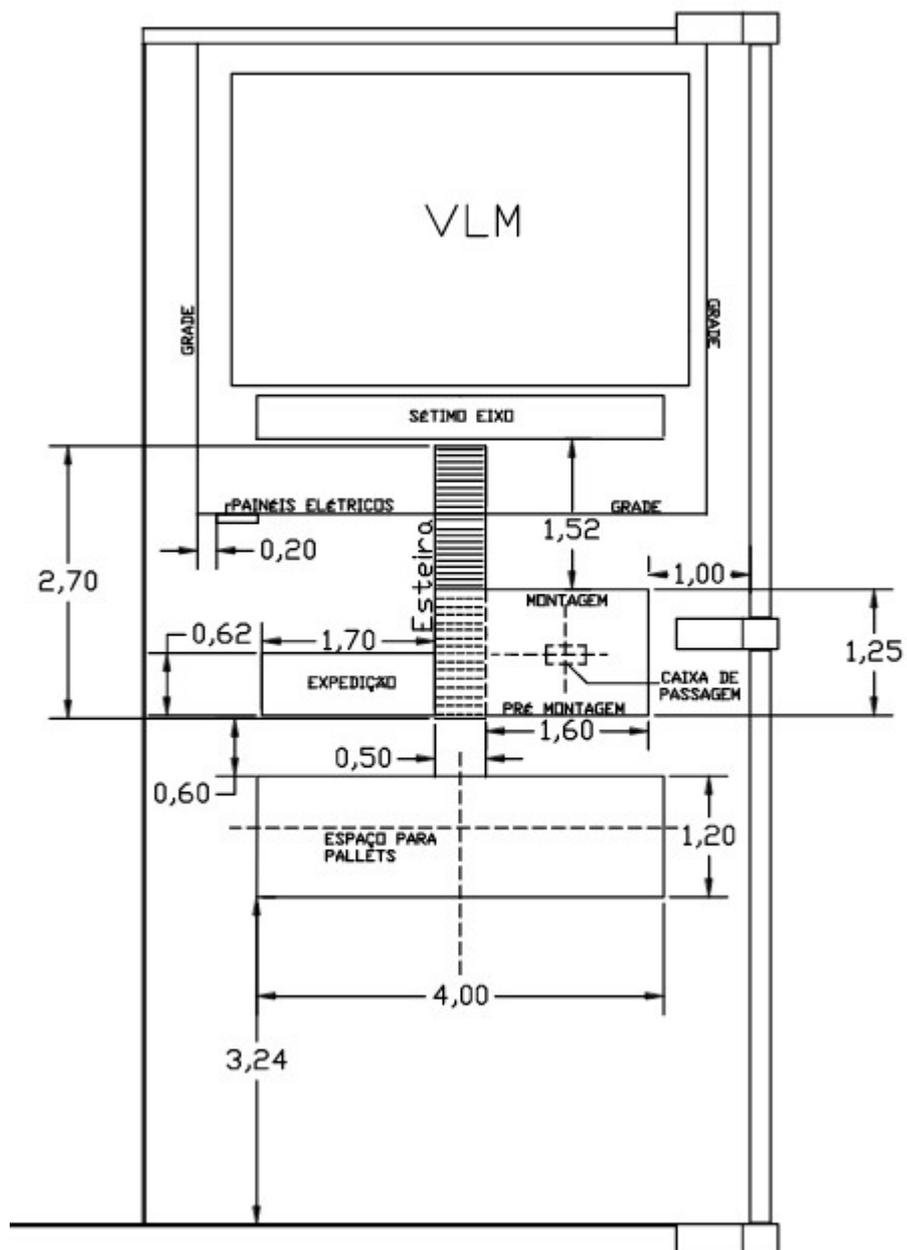
DIAGRAMA ELÉTRICOS - ILUMINAÇÃO BANCADA



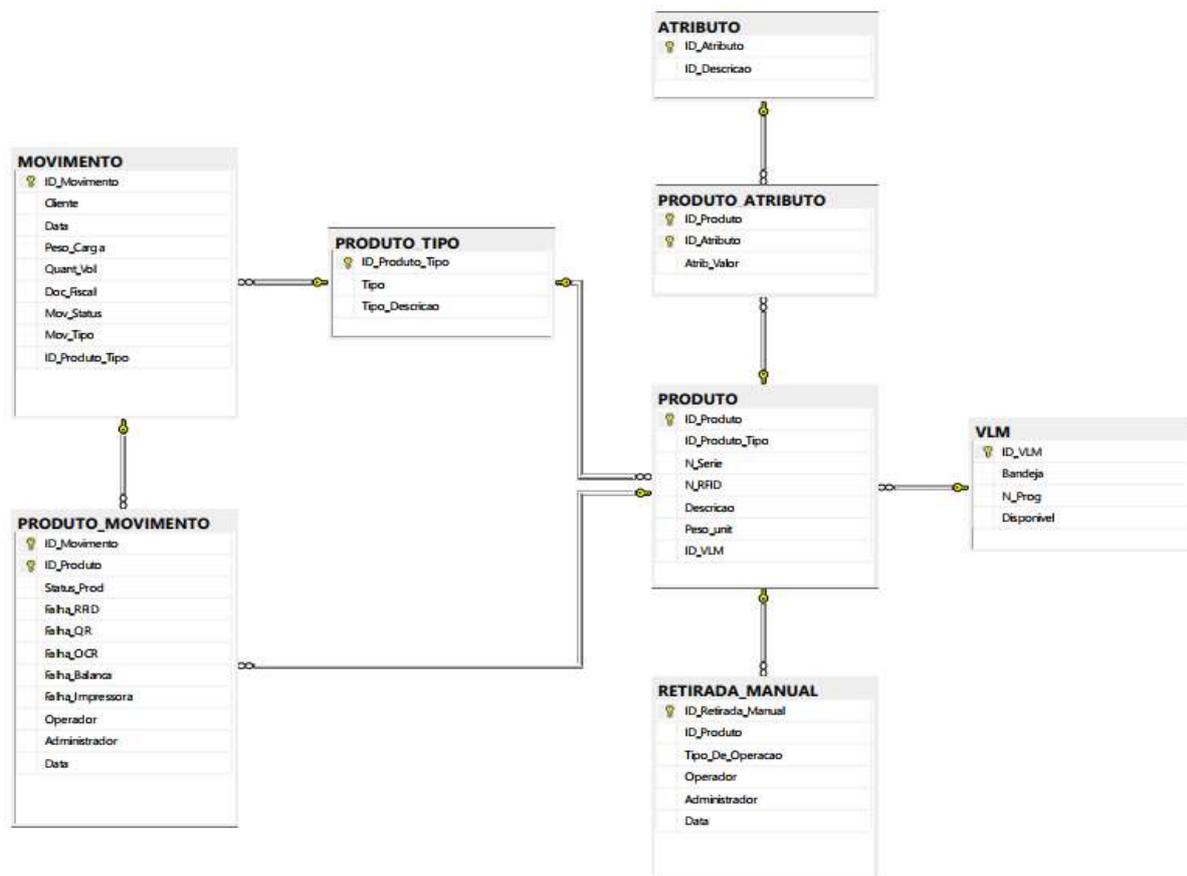
APÊNDICE 8 - Diagrama Pneumático



ARRANJO FÍSICO DOS EQUIPAMENTOS PT.2



APÊNDICE 10 - Modelo Representativo - Banco de Dados



APÊNDICE 11 - Passagem de Cabos

