

Projeto conceitual de um sistema logístico automatizado aplicado à indústria moveleira

Conceptual design of an automated logistics system applied to the furniture industry

Diseño conceptual de un sistema logístico automatizado aplicado a la industria del mueble

Recebido: 25/07/2022 | Revisado: 09/08/2022 | Aceito: 11/08/2022 | Publicado: 19/08/2022

Ademir José Velicko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0544-5506>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: 188053@upf.br

Márcio Walber

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-0937>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: mwalber@upf.br

Resumo

A aplicação das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 nos processos logísticos industriais é uma estratégia eficiente para reduzir custos operacionais, agilizar as entregas e aumentar a eficiência do empreendimento. Assim, este trabalho tem como objetivo a realização do projeto conceitual de um sistema logístico automatizado envolvendo a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos embalados de uma indústria moveleira. A elaboração deste projeto utilizou as duas primeiras etapas da metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl, Beitz, Feldhusem e Grote (2005), a fase de planejamento e a fase de concepção. Estas etapas permitiram elaborar a lista de requisitos, obter e avaliar as variantes de solução e apresentar o projeto conceitual de um sistema logístico automatizado baseado nas tecnologias da Indústria 4.0 e Logística 4.0 através da identificação dos produtos por radiofrequência e da movimentação por robôs móveis autônomos. Visando a fabricação e implantação deste projeto conceitual são necessárias mais duas etapas da metodologia de Pahl et al. (2005), a fase do projeto preliminar e a fase do projeto detalhado. Estas etapas definirão as especificações técnicas dos equipamentos e o detalhamento da forma de funcionamento dos transportadores, do sistema de armazenagem e do software de gerenciamento, culminando com o layout detalhado do sistema logístico automatizado. Assim, o projeto possui potencial de alavancar o crescimento da indústria moveleira, pois proporcionará um aumento da capacidade de armazenagem e transporte dos produtos de maneira independente da atuação humana e garantirá a rastreabilidade dos produtos em tempo real.

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

Abstract

The application of Industry 4.0 technologies and concepts in industrial logistics processes is an efficient strategy to reduce operating costs, speed up deliveries and increase the efficiency of the enterprise. Thus, this work aims to carry out the conceptual design of an automated logistics system involving the movement, storage and management of packaged products in a furniture industry. The elaboration of this project used the first two stages of the project development methodology proposed by Pahl, Beitz, Feldhusem and Grote (2005), the planning phase and the conception phase. These steps made it possible to prepare the list of requirements, obtain and evaluate the solution variants and present the conceptual design of an automated logistics system based on Industry 4.0 and Logistics 4.0 technologies through the identification of products by radiofrequency and movement by autonomous mobile robots. Aiming at the fabrication and implementation of this conceptual project, two more steps of the methodology of Pahl et al. (2005), the preliminary design phase and the detailed design phase. These steps will define the technical specifications of the equipment and the details of how the transporters, the storage system and the management software work, culminating in the detailed layout of the automated logistics system. Thus, the project has the potential to leverage the growth of the furniture industry, as it will provide an increase in the storage and transport capacity of products independently of human activity and will guarantee the traceability of products in real time.

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

Resumen

La aplicación de tecnologías y conceptos de Industria 4.0 en los procesos de logística industrial es una estrategia eficiente para reducir los costos operativos, agilizar las entregas y aumentar la eficiencia de la empresa. Es así que este trabajo tiene como objetivo realizar el diseño conceptual de un sistema logístico automatizado que involucre el movimiento, almacenamiento y manejo de productos empacados en una industria de muebles. La elaboración de este proyecto utilizó las dos primeras etapas de la metodología de desarrollo de proyectos propuesta por Pahl, Beitz,

Feldhusem y Grote (2005), la fase de planificación y la fase de concepción. Estos pasos permitieron elaborar la lista de requerimientos, obtener y evaluar las variantes de solución y presentar el diseño conceptual de un sistema logístico automatizado basado en tecnologías Industria 4.0 y Logística 4.0 a través de la identificación de productos por radiofrecuencia y movimiento por robots móviles autónomos. Con el objetivo de la fabricación e implementación de este proyecto conceptual, dos pasos más de la metodología de Pahl et al. (2005), la fase de diseño preliminar y la fase de diseño detallado. Estos pasos definirán las especificaciones técnicas de los equipos y los detalles de funcionamiento de los transportadores, el sistema de almacenamiento y el software de gestión, culminando con el diseño detallado del sistema logístico automatizado. Así, el proyecto tiene el potencial de apalancar el crecimiento de la industria del mueble, ya que proporcionará un aumento en la capacidad de almacenamiento y transporte de productos independientemente de la actividad humana y garantizará la trazabilidad de los productos en tiempo real.

Palabras clave: Automatización; Industria 4.0; Logística 4.0; Metodología del proyecto.

1. Introdução

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

Segundo Fonseca (2018), a Indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização avançada; integração de processos de manufatura industrial e logística; uso de internet e objetos “inteligentes” (máquinas e produtos); e pela fusão dos mundos físico e virtual através da adoção de tecnologia de informação e comunicação. O autor destaca que a implementação eficaz da Indústria 4.0 proporciona ganhos de competitividade na empresa, aumentando a criação de valor e minimizando os riscos, com a adoção de sistemas de produção mais eficientes, rápidos e de tecnologias inovadoras. Os principais benefícios previstos são a redução do ciclo de operação, rapidez na entrega e lançamento de novos produtos/serviços ao mercado, maior qualidade e customização de produto/serviço e envolvimento do consumidor de forma mais proativa e intensa (Ghadge et al., 2020).

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

Desta forma, Wang et al., (2017) conceituam o sistema de logística inteligente como um moderno sistema de logística composto por código de barras, tecnologia de identificação por radiofrequência, sensores, sistema de posicionamento global e assim por diante. Por meio da rede inteligente formada pelo Sistema Físico Cibernético, os recursos logísticos se integram e operam através de uma base de dados de logística inteligente (Yavas & Ozkan-Ozen, 2020). Com este foco Strandhagen, Alfnes, Strandhagen e Swahn (2016) destacam que os veículos autônomos guiados (AGVs) para transporte de material em uma fábrica podem gerar grandes benefícios a logística de produção interna de uma empresa. Nesta mesma linha Mehami, Nawi e Zhong (2018), descrevem que a Indústria 4.0 aplicada as indústrias de manufatura devem-se as tecnologias de internet interagindo aos sistemas de automação otimizados e apresenta a aplicação dos AGVs através de etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID) para fins de identificação e controle de movimento.

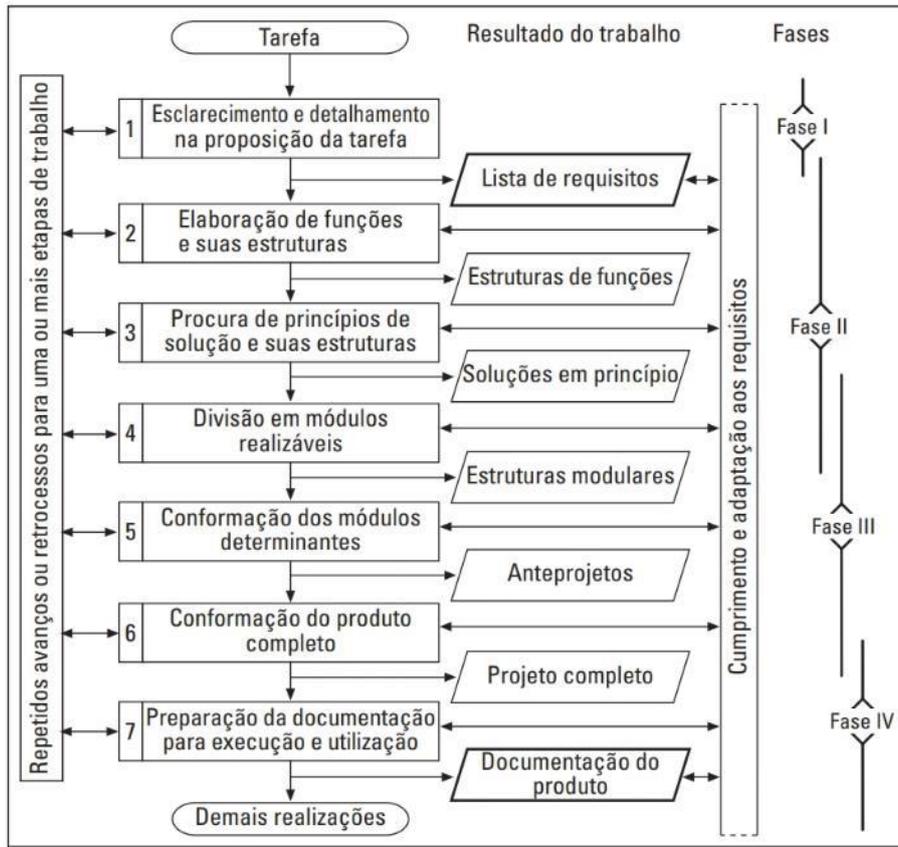
Assim, considerando as oportunidades e benefícios proporcionados pelas tecnologias da Indústria 4.0 e da Logística 4.0, o problema em questão está relacionado a identificação, transporte, armazenagem e gerenciamento de produtos embalados

de uma indústria moveleira do segmento de estofados para ambientes profissionais e colaborativos que devem ser expedidos posteriormente. O sistema logístico automatizado projetado deverá realizar o transporte e identificação dos produtos embalados originados de cinco setores de montagem distribuídos no layout da fábrica até uma área de armazenagem. O armazém tem a finalidade de estocar os produtos até o momento de estarem aptos para serem expedidos. Atualmente o processo de transporte dos produtos embalados sobre paletes é realizado manualmente com o auxílio de empilhadeiras elétricas e paleteiras manuais até o armazém. Posteriormente, neste armazém ocorre a localização e separação dos produtos que deverão ser expedidos. Este processo é realizado de forma manual pelos colaboradores por meio da conferência das etiquetas de identificação fixadas sobre as embalagens, o que torna o processo demorado e com movimentações desnecessárias, além de possibilitar a ocorrência de erros de identificação dos produtos e conseqüentemente envio indevido aos clientes.

Neste contexto, essa indústria moveleira do segmento de estofados tem a necessidade de melhorar a eficiência de seus processos produtivos de transporte, armazenagem e principalmente garantir a rastreabilidade dos produtos embalados de forma dinâmica e precisa. Pois a implementação das tecnologias oriundas da Indústria 4.0 e da Logística 4.0 podem proporcionar vantagem competitiva a empresa, proporcionando alta eficiência na alocação de recursos, resposta rápida à demanda do mercado, baixo custo de mão de obra e custo logístico. Portanto, o artigo possui como objetivo geral o desenvolvimento do projeto conceitual de um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. E como objetivos específicos, a utilização das duas primeiras fases da metodologia de desenvolvimento de projetos proposta por Pahl et al. (2005) e a análise das tecnologias de identificação, transporte e armazenagem disponíveis no mercado aplicáveis ao projeto.

O processo de desenvolvimento de projeto de Pahl et al. (2005) é estruturado em quatro fases, conforme ilustrado na Figura 1. Assim, a primeira fase é o esclarecimento do projeto, sendo composta pela definição da tarefa e elaboração da lista dos requisitos; a segunda fase é o projeto conceitual, ou seja, a ideia inicial do produto através da avaliação de soluções segundo critérios técnicos e econômicos; a terceira fase refere-se à busca por soluções funcionais do produto e por soluções técnicas (forma, materiais, acabamentos, dimensões e processos de fabricação); e a quarta fase envolve o desenvolvimento da documentação do produto para viabilizar a sua fabricação e implantação. Desta forma, a metodologia incentiva o processo de inovação e de concepção de maneira didática minimizando riscos de insucessos no projeto, pois permite que ao final de cada fase seja verificado o atendimento aos requisitos de projeto, avançando ou retrocedendo etapas.

Figura 1 - Procedimento geral para o desenvolvimento de projetos.

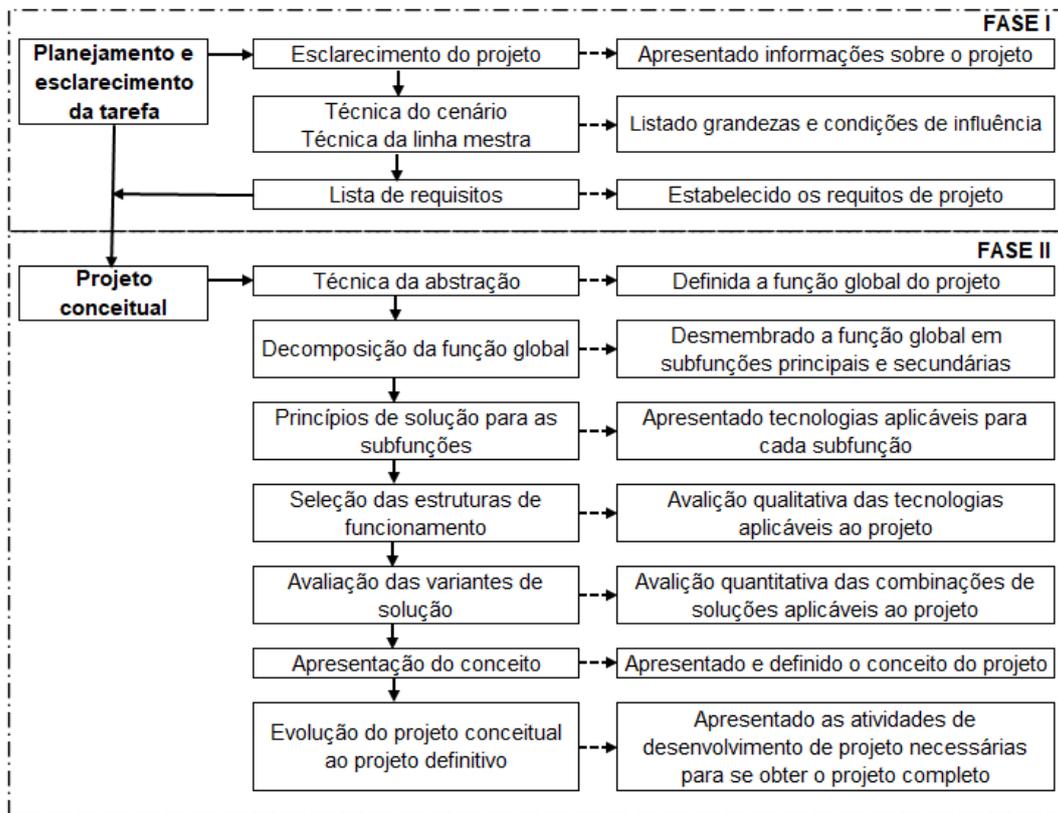


Fonte: Pahl et al. (2005).

2. Metodologia

Pahl et al. (2005), conceituam a metodologia de projeto como um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem seguidas para desenvolver soluções de problemas técnicos. Neste trabalho será utilizada as duas primeiras fases da metodologia de projeto proposta por Pahl et al. (2005) adaptadas para o desenvolvimento do projeto conceitual do sistema logístico automatizado, conforme o fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas da elaboração do projeto conceitual baseado na metodologia de Pahl, et al. (2005).



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005).

Conforme apresentado na Figura 2, a primeira etapa (Fase I) inicia-se com o detalhamento do contexto do projeto através da apresentação de informações e dados sobre o cenário em que será desenvolvido o projeto. Em seguida a técnica do cenário e a técnica da linha mestra são utilizadas para listar as grandezas e condições que influenciam na concepção do produto e estão relacionadas como diretrizes organizadas através de condicionantes. Assim, a partir das condicionantes obtidas é elaborado a lista de requisitos que contém as principais características que atuarão sobre as estruturas de função, funcionamento e construção do sistema. A lista de requisitos contém as exigências básicas, técnicas e específicas e serve de referência para as próximas etapas do desenvolvimento do projeto.

Após inicia-se a segunda etapa (Fase II) do projeto com a aplicação da técnica de abstração, permitindo compreender o problema e estabelecer a função global do projeto. A aplicação desta técnica permite reduzir a complexidade do problema do projeto conceitual a ser desenvolvido a partir da lista de requisitos por meio da aplicação de cinco passos:

- 1º Passo: Suprimir vontades mentalmente;
- 2º Passo: Somente considerar requisitos que afetam as funções e principais condicionantes;
- 3º Passo: Converter dados quantitativos em qualitativos;
- 4º Passo: Ampliar de forma adequada o que foi percebido;
- 5º Passo: Formular o problema de forma neutra quanto à solução.

Em seguida, a técnica do desdobramento da função global é aplicada para obter as subfunções do sistema que ligam as entradas com as saídas em cada etapa operacional por meio do planejamento mental da sequência de utilização em condições normais. E através de um diagrama de blocos é apresentado a estrutura funcional do equipamento, mesmo sem ter definido os aspectos formais, mas que facilitará a busca por soluções das subfunções que interligadas definem a solução para o problema principal do projeto. Após inicia-se a busca por soluções específicas para cada subfunção com visão sistêmica para o

funcionamento de todo o conjunto através de um esquema classificador denominado “Matriz Morfológica”, ou “Caixa de Zwicky”, buscando uma possível estrutura de funcionamento como solução global.

Na sequência, com o objetivo de identificar as variantes de soluções compatíveis entre si e que ao mesmo tempo satisfaçam a função global do projeto, será realizada uma avaliação baseada em critérios qualitativos para descartar as opções que não atendem aos requisitos básicos elencados como fundamentais para o projeto. Posteriormente, as variantes de solução obtidas serão avaliadas de forma quantitativa para definir a melhor solução para o projeto. Esse processo avaliativo analisa as variantes de solução em relação ao atendimento as exigências de projeto estabelecidas e em conformidade com as diretrizes da VDI 2225. A variante de solução que obter a maior pontuação significa que melhor atendeu aos critérios avaliados e será empregada no projeto. Por fim apresenta-se o conceito do projeto do sistema logístico automatizado da indústria moveleira na forma de um desenho ilustrativo com a aplicação das soluções obtidas a partir da variante de solução selecionada.

3. Resultados e Discussão

Os resultados a seguir correspondem a sequência de atividades baseadas na metodologia de desenvolvimento de projeto de Pahl et al. (2005), conforme apresentado na Figura 2, visando obter o projeto conceitual de um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira.

3.1 Primeira fase: planejamento do produto e esclarecimento da tarefa

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados para ambientes profissionais e colaborativos, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. Portanto, o projeto pode ser considerado adaptativo, pois o princípio de solução disponível comercialmente será preservado e somente sua configuração será adaptada às novas condições periféricas. Os principais problemas a serem solucionados com a implantação deste projeto de automação são:

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

Atualmente, o processo de transporte dos produtos embalados e depositados sobre paletes originados de 5 setores de montagem distribuídos na planta fabril são realizados manualmente por colaboradores com o auxílio de empilhadeiras elétricas e paleteiras manuais até o armazém. A distância média entre os setores de montagem até a área de armazenagem varia de 42 a 134 metros, de acordo com o setor de montagem selecionado. O armazém tem a finalidade de estocar os produtos até o momento de estarem aptos para serem expedidos. A área atual de armazenagem dos produtos é de 700 m² e comporta 200 paletes distribuídos somente ao nível do piso. Neste armazém os colaboradores realizam um processo manual de localização e separação dos produtos que deverão ser expedidos, por meio da conferência das etiquetas de identificação fixadas sobre as embalagens. Em virtude da localização e separação dos produtos a serem expedidos ser executada de forma manual, torna-se inviável implementar prateleiras para estocar em vários níveis de armazenagem. E após esta área de armazenagem tem-se a área destinada aos produtos separados que serão expedidos e área de carregamento dos produtos nos caminhões.

3.1.1 Técnica do cenário e da linha mestra

As características principais apresentadas através da técnica do cenário e da linha mestra nortearão a elaboração dos

requisitos para o projeto, tornando-se grandezas e condições que influenciarão no desenvolvimento e implementação do sistema logístico automatizado. A técnica do cenário consiste em examinar e esquematizar o ciclo de vida de um produto desde a sua produção até o seu sucateamento, incluindo as fases intermediárias, visando levantar as principais características e considerações do produto em cada etapa. Assim, o Quadro 1 apresenta as características e considerações dos principais tópicos das etapas de instalação, operação e descarte do sistema logístico automatizado. Já a técnica da linha mestra consiste em elencar as principais características e funções que o projeto deverá considerar no seu desenvolvimento. Desta forma, o Quadro 2 apresenta as características principais e as respectivas variáveis condicionantes.

Quadro 1 - Aplicação da técnica do cenário no projeto do sistema logístico automatizado.

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

Fonte: Autores (2022).

Quadro 2 - Linha mestra do projeto do sistema logístico automatizado.

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

Fonte: Autores (2022).

Portanto, a aplicação destas duas ferramentas permite elaborar as primeiras recomendações de forma qualitativa para o projeto do sistema logístico automatizado, mas que deverão ser consideradas como norteadoras na etapa de elaboração da lista de requisitos.

3.1.2 Estabelecimento dos requisitos de projeto

A lista de requisitos é proveniente da técnica do cenário e da linha mestra, a qual contém as condicionantes que derivam nas principais características que atuarão sobre as estruturas de funcionamento e construção do sistema, ou seja, as exigências básicas, técnicas e específicas para o desenvolvimento do projeto. Portanto, deve ser observada durante todo o processo de desenvolvimento do produto. O Quadro 3 apresenta os requisitos do projeto organizados da seguinte forma: na primeira coluna constam as características principais da linha mestra; na segunda encontram-se a classificação das características do produto analisadas em duas categorias, requisitos desejados (D) ou exigidos (E) e na terceira coluna encontra-se a lista dos requisitos.

Quadro 3 - Lista de requisitos do projeto.

Linha Mestra	D/E	Requisitos
Geometria	E	1) A dimensão do palete padrão utilizado é de 1,20 x 1,20 x 0,12 m, que deverá ser transportado e armazenado.
	E	2) A maior dimensão da embalagem que deverá ser transportada e armazenada é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.
	E	3) O deslocamento máximo necessário desde o setor de montagem dos produtos até a área de armazenagem para a expedição é de 134 m.
	E	4) A altura útil do prédio a ser instalado o sistema de armazenagem é de 6,30 m.
	D	5) A área total atualmente disponível para implementar o sistema de armazenagem é de 750 m ² .
Cinemática	E	1) A velocidade mínima que os transportadores deverão possuir é de 100 m/min.
	E	2) A altura mínima que os transportadores deverão ter a capacidade de elevar a carga no sistema de armazenagem é de 5,0 m.
Carga	E	1) O peso máximo de um palete que deverá ser transportado e armazenado é de 250 kg.
	E	2) O maior volume a ser transportado e armazenado é de 0,81 x 0,87 x 2,05 m.
	E	3) A capacidade mínima de movimentação e armazenagem de paletes diária é de 431 unidades ou 3000 embalagens.
Energia	E	1) Os equipamentos utilizados deverão possuir alta eficiência energética, ou seja, baixo consumo de energia.
	E	2) Os equipamentos utilizados para realizar o transporte dos paletes deverão possuir uma autonomia da carga da bateria de no mínimo 10 horas, ou seja, um turno de trabalho.
Materiais	E	1) Os dispositivos e equipamentos utilizados deverão atender as necessidades e aos esforços que estarão submetidos diariamente.
Sinal	E	1) Deverá ser instalado dispositivos de aquisição de dados, sensores e um sistema de gerenciamento dos movimentadores e do sistema de armazenagem, a fim de conseguir ter as informações em tempo real de todo o sistema implementado.
	E	2) Sistema de identificação/localização dos produtos: deverá ser implementado recursos tecnológicos que possibilitem a rastreabilidade de todos os produtos que serão processados pelo sistema.
Software	E	1) Sistema de gerenciamento e controle em tempo real: deverá permitir o monitoramento e gerenciamento em tempo real dos produtos em transporte/armazenados e sua localização dentro do armazém, além de possibilitar a emissão de relatórios da situação dos transportadores e do armazém.
Segurança	E	1) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão atender as normas vigentes de segurança, tais como: - NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade; - NR 11: Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais; - NR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos; - NR 17: Ergonomia; - NR 26: Sinalização de segurança.
	E	2) Dispositivos de segurança: os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir dispositivos de segurança, tais como sensores e sistemas de parada de emergência.

	E	3) Os equipamentos e dispositivos instalados deverão possuir proteção de partes móveis que os trabalhadores possam ter contato.
Ergonomia	E	1) Atender as normas e condições ergonômicas dos itens que necessitem interação com o ser humano (NR 17).
Montagem	D	1) Os equipamentos, dispositivos e estruturas do armazém deverão ser fixados preferencialmente por parafusos, a fim de facilitar o trabalho e ser flexível a mudanças.
Operação	E	1) Sistema de identificação automático dos produtos: o sistema deverá estar equipado e configurado de modo a identificar automaticamente os produtos e as respectivas dimensões da embalagem, a fim de definir o melhor lugar de armazenagem, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.
	E	2) O sistema deverá estar apto a realizar o carregamento automático dos paletes no transportador, ou seja, sem a necessidade de um colaborador.
	E	3) O sistema deverá estar apto a realizar o transporte dos paletes do setor de montagem até o armazém sem a necessidade de um colaborador, ou seja, de forma automática.
	E	4) O sistema deverá estar apto a realizar o endereçamento automático dos paletes no armazém com base nas informações dimensionais das embalagens presentes no paleta e a programação de saída do paleta do armazém.
Manutenção	D	1) O tempo mínimo entre cada manutenção preventiva deverá ser de no mínimo 1 mês, ou seja, alta robustez e baixa intervenção técnica.
	D	2) Facilidade de execução da manutenção preventiva: facilidade ao acesso dos componentes com necessidade de manutenção e averiguação de defeitos através do sistema do equipamento.
	D	3) Facilidade de adquirir os componentes que estarão sujeitos a uma menor vida útil e facilidade de realizar a sua substituição.
Custos	D	1) O custo total do sistema automatizado deverá ser o mínimo possível para atender os requisitos de projeto de maneira eficiente, devendo estar alinhado com o planejamento estratégico da empresa e a previsão de investimento.
	D	2) O sistema deverá possuir baixo custo de manutenção, ou seja, baixa necessidade de intervenção humana para que possa operar de forma eficiente.

Fonte: Autores (2022).

3.2 Segunda fase: projeto conceitual do sistema automatizado

Seguindo as definições da lista de requisitos inicia-se a segunda fase do desenvolvimento de projeto. Nesta etapa busca-se clareza das informações para que o projeto conceitual seja concebido, ou seja, é a definição preliminar de uma solução em que são estabelecidas as principais características funcionais do sistema logístico automatizado.

3.2.1 Técnica da abstração

O Quadro 4 apresenta a aplicação das cinco etapas do processo de abstração buscando reduzir a complexidade do problema e destacando as principais particularidades do projeto de um sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados de uma indústria moveleira do segmento de estofados, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. Os primeiros dois passos apresentam os principais requisitos deste projeto, no terceiro passo os dados quantitativos foram transformados em dados qualitativos, no quarto passo os dados qualitativos foram convertidos em informações fundamentais ao projeto e no quinto passo é apresentado a necessidade primordial que deverá ser atendida neste projeto.

Quadro 4 - Aplicação da técnica de abstração.

Resultado do 1° e 2° passos
- Palete utilizado: 1,20 x 1,20 m - Maior embalagem utilizada: 0,81 x 0,87 x 2,05 m - Capacidade de elevação de carga mínima de 5,0 m de altura - Carga máxima por palete: 250 kg - Número mínimo de paletes/dia movimentados: de 431 unidades - Distância de até 134 m entre o setor de origem do palete e o local de armazenamento - Monitoramento em tempo real do sistema - Sistema de identificação/localização dos produtos - Atender as normas vigentes de segurança e ergonomia - Sistema de identificação automático dos produtos - Sistema de carregamento, transporte e endereçamento automático de paletes
Resultado do 3° passo
- Diferentes tamanhos de embalagens - Diferentes cargas por palete - Diferentes alturas de armazenamento - Diferentes distâncias a transportar o palete - Diferentes quantidades de paletes movimentados diariamente - Monitoramento dos movimentadores e do armazém - Rastreabilidade dos produtos
Resultado do 4° passo
- Embalagens variáveis - Cargas variáveis - Transporte de paletes de locais e distâncias variáveis - Armazenamento em alturas variadas - Precisão funcional
Resultado do 5° passo
Armazenar produtos paletizados de forma autônoma

Fonte: Autores (2022).

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

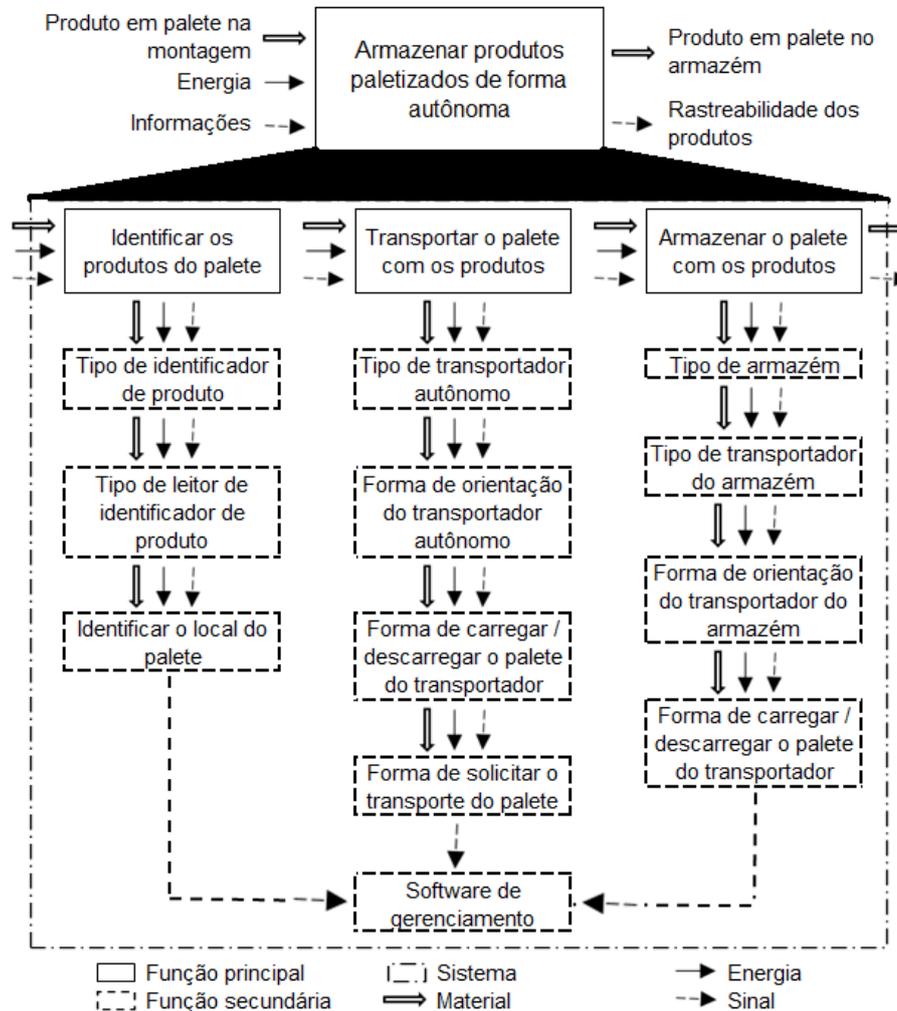
3.2.2 Decomposição da função global

A função global consiste na elaboração de uma estrutura funcional que contemple as principais funções do equipamento, auxiliando no seu desenvolvimento. Pahl et al. (2005) recomendam que seja realizada por variáveis de entrada, conversão ou transformação de algum material, energia ou sinal e após as variáveis de saída, todo esse processo deve ser feito da forma mais simples possível. Assim, a estrutura funcional origina-se da função global do projeto que foi obtida através da aplicação da técnica da abstração, ou seja, armazenar produtos paletizados de forma autônoma. Neste projeto as variáveis de entrada de matéria, energia e sinal são respectivamente os produtos em paletes nos setores de montagem, a energia elétrica e as informações originadas de todo o sistema. Tais informações estão relacionadas a identificação dos produtos depositados nos paletes, solicitações de transporte dos paletes, localização dos transportadores e paletes armazenados. E após a execução dos processos envolvidos para a realização da função global, as variáveis de saída são respectivamente os produtos em paletes depositados no armazém e as informações de rastreabilidade dos produtos.

A partir da identificação da função global do sistema automatizado de logística interna para produtos paletizados de uma indústria moveleira deve-se decompor a função global sucessivamente em funções mais simples visando encontrar soluções de maneira mais fácil. A Figura 3 apresenta a estrutura de funções desenvolvida para o sistema logístico automatizado

a partir desta metodologia.

Figura 3 - Estrutura de funções do projeto.



Fonte: Autores (2022).

Da função global derivaram três subfunções essenciais responsáveis pelas principais operações a serem realizadas no sistema: identificar os produtos do palete, transportar o palete com os produtos e armazenar o palete com os produtos. Conforme ilustra o fluxograma, as subfunções principais são de suma importância para o funcionamento do sistema logístico automatizado, enquanto as subfunções secundárias fornecem as condições necessárias para alcançar este objetivo. Após a estruturação das funções do sistema, pode-se detalhar cada uma delas, conforme apresentado a seguir:

- 1) **Identificar os produtos do palete:** Cada setor de montagem deverá receber com a ordem de produção o layout de paletização dos produtos, ou seja, o planejamento da posição dos produtos no palete será definida através do software de gerenciamento do armazém juntamente com o sistema ERP da empresa. O produto embalado e com uma etiqueta de identificação será alocado no palete de forma manual por um dos colaboradores do setor de montagem. Em cada setor de montagem deve haver dois locais marcados no piso (Local A e Local B) correspondente a dimensão do palete utilizado, a fim de determinar o lugar em que o palete deve ser posicionado para receber os produtos. Ao iniciar o carregamento dos produtos no palete, os leitores de etiquetas de identificação coletam e enviam esta informação ao software de gerenciamento do sistema automatizado, confirmando o planejamento produtivo em relação ao tipo de produto e quantidade.

2) Transportar o palete com os produtos: O transporte dos paletes de produtos será realizado por transportadores autônomos. O software de gerenciamento do sistema automatizado controla as ações dos transportadores, determina qual transportador deve buscar o palete nos setores de montagem e o local de destino do palete na área de recebimento do armazém. Desta forma, quando o software de gerenciamento do sistema automatizado verifica que o carregamento dos produtos no palete está finalizado, ocorre uma análise da programação das tarefas dos transportadores e determina-se qual transportador executará a atividade. Assim, o transportador autônomo deve deslocar-se até o local em que o palete se encontra, realizará a elevação do palete sobre a sua estrutura e iniciará o deslocamento em direção ao local determinado na área de recebimento dos paletes no armazém. Ao chegar neste local, o transportador deve realizar a descida do palete que se encontra sob sua estrutura e realizará a próxima tarefa determinada pelo software de gerenciamento do sistema automatizado.

3) Armazenar o palete com os produtos: O modelo de armazém selecionado para o sistema de armazenagem definirá qual a melhor opção de transportador para o armazém. O software de gerenciamento do sistema automatizado fará a gestão das operações dos transportadores. Assim, o transportador autônomo deve deslocar-se até o local em que o palete se encontra na área de recebimento do armazém, realizará a elevação do palete sobre a sua estrutura e iniciará o deslocamento em direção ao local de armazenagem determinado no sistema porta palete. Ao chegar neste local, o transportador deve realizar a descida do palete que se encontra sob sua estrutura e realizará a próxima tarefa determinada pelo software de gerenciamento do sistema automatizado.

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

3.2.3 Princípios de solução para as subfunções

A partir da identificação das subfunções do projeto do sistema automatizado de logística interna para produtos acabados e embalados é possível iniciar a busca por soluções específicas para cada uma delas, mas com visão sistêmica para o funcionamento de todo o conjunto. As subfunções elencadas anteriormente foram organizadas na matriz morfológica apresentada no Quadro 5, iniciando-se a busca por princípios de solução.

Quadro 5 - Matriz morfológica do projeto do sistema logístico automatizado.

Subfunções		Princípios de solução		
		A	B	C
1	Tipo de identificador de produto	 7898357410015 Código de barras - 1D	 Código de barras - 2D	 RFID
2	Tipo de leitor de identificador de produto	 Leitor de código de barras - 1D	 Leitor de código de barras - 2D	 Leitor de etiquetas RFID
3	Identificar o local do palete			

		Computador	Leitor de etiquetas de identificação	Sistema de visão - câmera
4	Tipo de transportador autônomo	 Empilhadeira AGV	 Paleta AMR	 Empilhadeira AMR
5	Forma de orientação do transportador autônomo	 Orientação óptica por fita demarcada no piso	 Orientação indutiva por fita metálica no piso	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM
6	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
7	Forma de solicitar o transporte do palete	 Software de gerenciamento		
8	Tipo de armazém	 Porta paleta convencional	 Porta paleta base móvel	 Armazém automático
9	Tipo de transportador do armazém	 Empilhadeira AGV	 Empilhadeira AMR	 Transelevador
10	Forma de orientação do transportador do armazém	 Orientação óptica	 Orientação por sensor LiDAR e a tecnologia SLAM	 Sistema de controle do transelevador
11	Forma de carregar / descarregar o palete do transportador	 Haste do transportador		
12	Software de gerenciamento	 Easy WMS	 Senior WMS	 HighJump WMS

Fonte: Autores (2022).

O Quadro 5 apresenta as soluções possíveis de serem empregadas para resolver a necessidade de cada subfunção. Os tipos de identificadores de produtos comercialmente disponíveis variam em função da sua capacidade de armazenar informações e da distância necessária para realizar a sua leitura, sendo que os mais utilizados são o código de barra 1D, o código de barra 2D e o RFID. Assim, conforme o tipo de etiqueta de identificação utilizada deve-se empregar um tipo de leitor para extrair as informações, sendo que para os códigos de barras 1D e 2D utilizam-se leitores que utilizam uma fonte de luz a laser com capacidade de leitura a uma distância de até 1m (Liu, Bi, & Liu, 2020). Já os leitores de etiquetas RFID permitem a leitura das etiquetas de identificação sem a necessidade de contato visual entre a etiqueta RFID e o leitor, possibilitando leituras a uma distância de até 10 m, pois empregam a tecnologia baseada em ondas eletromagnéticas (Andrade, Figueiredo, & Tlemçani, 2021).

A informação sobre a localização do palete que está sendo carregado com os produtos pode ser enviada ao software de gerenciamento do armazém pelo comando de um colaborador através de um computador, ou por meio do reconhecimento do local através de um sistema de visão (câmera) ou pelo próprio sinal do leitor de etiquetas de identificação ao detectar o produto paletizado e correlacionando ao planejamento realizado. A solicitação de transporte do palete carregado com os produtos será executada através do software de gerenciamento do sistema automatizado de forma automática ao ser verificado que a paletização planejada está finalizada.

Em relação ao tipo de transportador autônomo e a forma de orientação usada para realizar a movimentação dos paletes até no armazém destacam-se as empilhadeiras AGV que se deslocam seguindo uma trajetória programada e possuem capacidade de elevação de carga de até 5,0 m e as paleteiras e empilhadeiras AMR (Robôs Móveis Autônomos) que se deslocam usando sensores e processadores de bordo que permite ao equipamento compreender seu ambiente, sua localização e planejar dinamicamente seu trajeto, possuindo uma capacidade de elevação de carga respectivamente de 0,21 m e 5,0 m (Draganjac et al., 2020; Walker, 2021; Schaefer, 2021). O transporte dos paletes dentro do armazém pode ser executado por empilhadeiras AGV, empilhadeiras AMR e transelevadores. Os transelevadores são instalados sobre trilhos no corredor entre as prateleiras, possuem um garfo giratório que permite que os paletes sejam movimentados em três direções, uma frontal e as outras duas laterais e o equipamento é controlado a partir do PLC (Controlador Lógico Programável) (Mecalux, 2021). Porém todos os equipamentos utilizam como forma de carga e descarrega do palete do transportador as suas próprias hastes de elevação acionadas por meio do sistema eletro-hidráulico.

O armazenamento dos paletes pode ser implementado através de porta palete convencional que são estruturas modulares e flexíveis instaladas segundo as características do ambiente e dos produtos a serem armazenados, ou por porta palete base móvel que são prateleiras instaladas sobre bases móveis automatizadas e guiadas que se deslocam lateralmente, assim suprime os corredores e no momento necessário abre-se o corredor no local necessário a operação ou por armazém automático que utiliza transelevadores para realizar as movimentações no armazém em corredores estreitos (Mecalux, 2021). Os softwares de gerenciamento disponíveis comercialmente que possuem funções de controle e gestão de processos relacionados ao transporte e armazenamento de materiais são o Easy WMS, o Senior WMS e HighJunp WMS (Brandão, 2020).

3.2.4 Seleção de estruturas de funcionamento apropriadas

Com o objetivo de identificar as soluções compatíveis entre si e que atendam às exigências apresentadas na lista de requisitos e na função global do projeto aplicou-se uma análise qualitativa. A análise qualitativa permite filtrar de maneira rápida as soluções que melhor suprem a necessidade do projeto e reduzir o número de variáveis para as próximas etapas do desenvolvimento do projeto, conforme apresentado no Quadro 6. O funcionamento da lista de avaliação das soluções ocorre da seguinte forma, foram feitas perguntas e a essas perguntas foram dadas respostas atendendo a uma simbologia, S (sim) ou N

(não). Posteriormente, foi feita uma tomada de decisão, onde D significa desclassificado e C significa classificado.

Quadro 6 - Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica do projeto.

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

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

Fonte: Autores (2022).

Após a análise qualitativa as soluções com maior potencial de aplicação no projeto do sistema logístico automatizado foram agrupadas e realizando a combinação de soluções possíveis, obteve-se 12 variantes de soluções aplicáveis ao sistema logístico automatizado, conforme ilustrado no Quadro 7.

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

Quadro 7 - Princípios de soluções remanescentes e suas combinações após avaliação qualitativa.

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

Fonte: Autores (2022).

3.2.5 Avaliação das variantes de solução

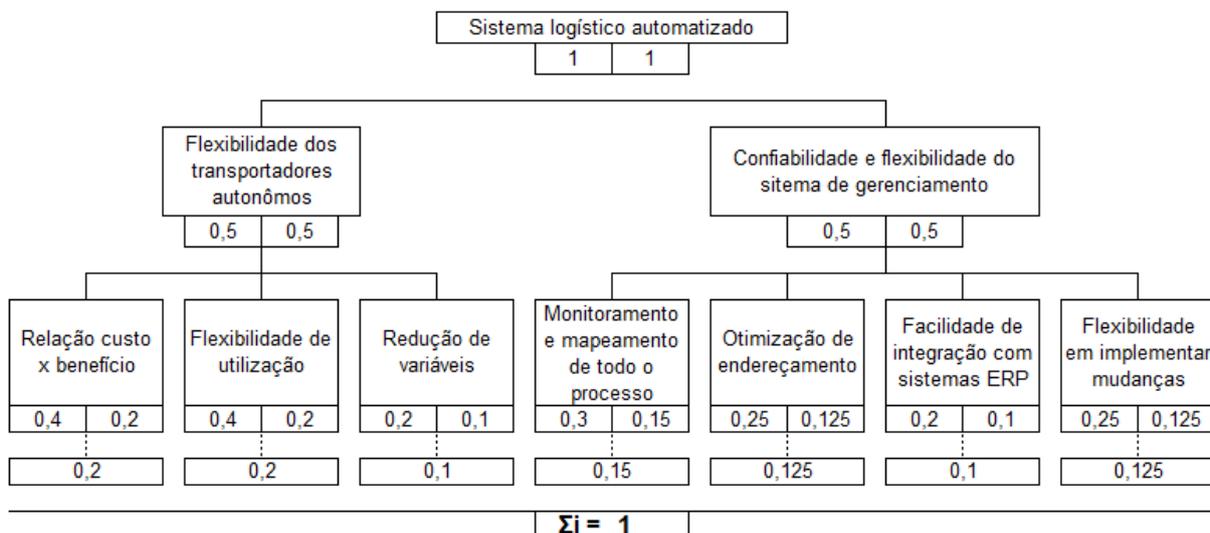
Através da combinação das soluções obteve-se 12 variantes de solução, ou seja, um número de soluções elevado. Assim, inicialmente se avaliou as variantes de solução de forma qualitativa, descartando as opções que não suprem aos requisitos básicos elencados como fundamentais para o projeto. A avaliação foi composta por perguntas: se atende a função global, se permite a verificação dos produtos paletizados de forma ágil em diversos locais e se possui facilidade de implantação em sistemas automatizados.

Deste modo, as variantes de solução V9, V10, V11 e V12 atenderam os requisitos de avaliação estabelecidos e as demais variantes de solução foram descartadas, pois necessitam de contato visual entre a etiqueta e o leitor de etiquetas para executar a identificação dos produtos e em um processo automatizado esta necessidade pode comprometer a agilidade do processo e a identificação do produto.

A principal diferença destas 4 variantes de solução deve-se ao tipo de transportador autônomo (paleteira AMR ou empilhadeira AMR) empregado para fazer a movimentação dos paletes até o armazém e ao software de gerenciamento utilizado para controlar todo o sistema automatizado (Easy WMS ou Senior WMS). As demais subfunções utilizarão as mesmas tecnologias, ou seja, usarão etiquetas de identificação do tipo RFID, leitor de etiquetas RFID, a identificação do local do palete que está sendo carregado será por meio do leitor de etiquetas de identificação, os transportadores autônomos empregarão a orientação por meio do sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) e da tecnologia SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), o carregamento e descarregamento do palete no transportador será realizado pela própria haste do equipamento de transporte, a solicitação de transporte do palete carregado será através do software de gerenciamento, o armazém será do tipo porta palete convencional e o tipo de transportador do armazém também será as empilhadeiras AMR.

Neste momento a metodologia proposta para o desenvolvimento do projeto sugere a realização de uma análise quantitativa destas variantes de solução. Assim, as exigências da lista de requisitos do projeto são convertidas em critérios de avaliação. A cada critério avaliativo é estabelecido um fator de ponderação devido a sua importância no desenvolvimento do projeto. O valor numérico é obtido através da multiplicação do fator de ponderação do seu respectivo nível pelos fatores de ponderação dos níveis superiores e a soma dos pesos de cada nível de avaliação deve ser igual a 1 (um). A Figura 4 apresenta os critérios de avaliação quantitativa das variantes de solução com os respectivos fatores de ponderação.

Figura 4 - Critérios de avaliação quantitativa das variantes de solução.



Fonte: Autores (2022).

Cada um dos objetivos do sistema logístico automatizado possui um peso para a concepção do sistema. Porém, é necessário relacionar critérios qualitativos e quantitativos. Essa relação pode ser realizada por dois métodos distintos: a análise de pontos ou as diretrizes da VDI 2225. O Quadro 8 demonstra os critérios de avaliação adotados para quantificar a funcionalidade teórica dos objetivos do sistema automatizado.

Quadro 8 - Critérios de avaliação das variantes de solução.

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

Fonte: Autores (2022).

A funcionalidade foi avaliada para as variantes V9, V10, V11 e V12 em cada um dos objetivos ilustrados na Figura 4, utilizando como referência os valores adotados pelas diretrizes da VDI 2225, onde cada escala de valores varia de zero (0) a quatro (4) pontos, sendo zero (0) o valor mínimo e insatisfatório e quatro (4) o valor máximo e ótimo. Desta forma, o Quadro 9 apresenta a avaliação quantitativa das variantes de solução segundo os pesos apresentados na Figura 4 e a escala de valores estabelecidos no Quadro 8. Dessa avaliação derivaram o valor global e o ponderado de cada uma das variantes de solução.

Quadro 9 - Avaliação quantitativa das variantes de solução.

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

Fonte: Autores (2022).

Assim, a variante de solução V12 apresentou o melhor desempenho nos requisitos avaliados, pois apresentou um valor global e um valor ponderado respectivamente de 21 e 3,0 pontos, devendo ser empregada nas etapas subsequentes do

desenvolvimento do projeto do sistema logístico automatizado.

3.2.6 Conceito do projeto

A solução técnica para o projeto conceitual do sistema automatizado deve considerar as estruturas de funcionamento desenvolvidas através da variante de solução V12. Portanto, o projeto conceitual deste trabalho está fundamentado em produtos que utilizam etiquetas de identificação do tipo RFID. Assim, quando o colaborador insere um produto que possui a etiqueta RFID sobre o palete, a informação desta etiqueta é transmitida por meio do leitor de etiquetas de RFID ao software de gerenciamento do sistema automatizado. No momento em que todos os produtos a serem carregados em um palete estiverem posicionados, o software de gerenciamento solicita que um dos transportadores autônomos realize a coleta do palete e execute o transporte até o local específico no porta paletes no armazém. Com este princípio de funcionamento, a Figura 5 apresenta um desenho ilustrativo do projeto conceitual do sistema logístico automatizado aplicando as soluções obtidas com a variante de solução V12.

Figura 5 - Desenho ilustrativo do projeto conceitual do sistema logístico automatizado.



Fonte: Autores (2022).

Os principais benefícios proporcionados pela tecnologia RFID devem-se a possibilidade de leitura de várias etiquetas de RFID ao mesmo tempo e sem a necessidade de contato visual com a etiqueta, ou seja, permite a leitura a uma maior distância entre a etiqueta e o leitor das etiquetas em comparação as tecnologias de códigos de barras 1D e 2D (Andrade et al., 2021). Já a solicitação do transporte do palete carregado com os produtos em cada setor de montagem será executada através do software de gerenciamento do sistema automatizado de forma automática. Isto será possível em função de haver uma programação do layout dos produtos que devem ser carregados em cada palete. Assim, a informação dos produtos adicionados no palete é obtida através do leitor de etiquetas RFID e transmitida ao sistema de gerenciamento em tempo real. E ao ser

finalizado o carregamento da última embalagem planejada no palete, o sistema automaticamente dispara a ordem de transporte aos transportadores autônomos.

Os transportadores autônomos utilizados para realizar a movimentação dos paletes dos setores de montagem até o local de depósito no armazém são empilhadeiras AMR que aplicam o sistema de navegação e orientação através dos sensores LiDAR e da tecnologia SLAM. Portanto, tais transportadores não necessitam de acessórios físicos específicos instalados na área de operação em comparação aos transportadores com a tecnologia AGV, o que torna a programação das trajetórias dos transportadores mais flexível a mudanças de layout (Yan et al., 2020; Walker, 2021). Outro benefício de empregar somente empilhadeiras AMR no sistema logístico automatizado deve-se ao fato de aumentar a versatilidade de utilização dos equipamentos transportadores, ou seja, o mesmo equipamento poderá realizar o transporte do palete do setor de montagem até o local de armazenamento no porta palete. Assim, elimina-se etapas do processo automatizado, pois retira-se a necessidade de descarregar o palete em um local específico de recebimento dos paletes no armazém e que um outro transportador com maior capacidade de elevação execute o endereçamento até o porta palete.

A atividade de carregamento e descarregamento do palete do transportador será realizada através das hastes de elevação de carga dos próprios transportadores, por meio do sistema eletro-hidráulico destes equipamentos. O tipo de armazém selecionado para a automação é o sistema porta palete convencional, pois Bertolini (2021) afirma que este sistema requer um menor investimento comparado a outros sistemas aplicáveis a estas condições operacionais de armazenagem (área de armazenagem, altura de armazenagem, critério de entrada e saída dos paletes armazenados) e devido ser o sistema mais flexível a mudanças de layout por não necessitar equipamentos de movimentação específicos e adequações construtivas na edificação. O software de gerenciamento do sistema logístico automatizado selecionado é o Senior WMS, pois segundo os autores Sommerfeld (2020) e Brandão (2020) apresenta condições de programação flexíveis as necessidades do cliente, permite uma alta capacidade de integração com diversos sistemas de ERP, possibilita implementar rotinas automáticas de execução de atividades e possibilita um elevado nível de controle operacional do sistema logístico automatizado.

Portanto, obteve-se o conceito de um sistema logístico automatizado que aplica as ferramentas, equipamentos e recursos mais eficientes e autônomos disponíveis no mercado. Assim, elimina-se a necessidade direta da ação dos colaboradores para realizar as atividades de transporte e armazenagem de produtos paletizados, proporcionando a rastreabilidade, confiabilidade e eficiência das operações.

3.2.7 Evolução do projeto conceitual ao projeto definitivo

Segundo a metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005) para que seja obtido o projeto completo apto a ser fabricado e implantado são necessárias mais duas etapas, ou seja, o projeto preliminar (Fase III) e o projeto detalhado (Fase IV).

A terceira etapa (Fase III) tem o propósito de apresentar a estrutura construtiva do projeto, partindo da solução preliminar e baseando-se em critérios técnicos e econômicos. Assim, deverá ser apresentado as especificações técnicas dos equipamentos utilizados e o detalhamento da forma de funcionamento dos transportadores, do sistema de armazenagem e do software de gerenciamento. Nesta etapa do projeto é importante realizar uma simulação computacional do sistema logístico automatizado proposto em um software de eventos discretos, como por exemplo o software Tecnomatix Plant Simulation (Siemens, 2021). Ao realizar a simulação computacional do sistema logístico automatizado será possível realizar uma análise do número de transportadores necessários neste projeto e da capacidade requerida no sistema de armazenagem em função da demanda produtiva. Além de permitir a realização de uma avaliação comparativa de desempenho do sistema logístico automatizado em relação ao estado produtivo atual, possibilitando destacar os principais benefícios que serão obtidos com a implantação do sistema logístico automatizado. Desta forma, obtém-se a validação do projeto de forma virtual e se reduz a

possibilidade de retrabalhos durante a execução do projeto.

Por fim, a quarta etapa (Fase IV) visa apresentar o projeto detalhado, ou seja, deverá ser apresentado o layout final do sistema logístico automatizado com a relação dos equipamentos utilizados. Desta forma, o projeto estará pronto para ser implementado no processo produtivo desta indústria moveleira.

4. Conclusões

O estudo teve como objetivo geral o desenvolvimento do projeto conceitual de um sistema automatizado de logística para produtos embalados de uma indústria moveleira, englobando a movimentação, armazenagem e gerenciamento dos produtos. E como objetivos específicos, a utilização da fase de planejamento e a fase de concepção da metodologia de projeto de produto proposta por Pahl et al. (2005) e a análise das tecnologias de identificação, transporte e armazenagem disponíveis no mercado aplicáveis ao projeto conceitual. Portanto, ambos os objetivos foram atendidos por meio de pesquisa bibliográfica, análise de equipamentos disponíveis comercialmente no mercado e principalmente através da aplicação da metodologia de desenvolvimento de projetos proposta por Pahl et al. (2005), pois contempla uma estrutura lógica, sistêmica, cíclica e com retornos predefinidos, viabilizando melhorias até a solução do projeto.

Portanto, a utilização de uma metodologia para desenvolver o projeto do sistema logístico automatizado proporcionou solidez e controle no andamento do projeto, direcionando os resultados obtidos em cada uma das etapas para alcançar o objetivo principal deste estudo. Assim, o projeto conceitual proposto possui um alto potencial de contribuir com o crescimento da empresa ao ser implementado, pois aumentará a capacidade de armazenagem de produtos paletizados e a capacidade logística interna, haverá redução de colaboradores envolvidos nas atividades de transporte, localização e separação dos produtos para serem expedidos e principalmente promoverá alta eficiência na rastreabilidade dos produtos durante as operações logísticas. Assim, a empresa se tornará mais competitiva e de maior credibilidade perante ao mercado, pois através de investimentos em tecnologias é possível reduzir o tempo de resposta ao aumento da demanda do mercado, evitar falhas e retrabalhos, reduzir custos internos e consequentemente aumentar a satisfação dos clientes.

Como trabalhos futuros, sugere-se a aplicação das etapas III e IV da metodologia de desenvolvimento de projeto proposta por Pahl et al. (2005) a fim de obter o projeto detalhado do sistema logístico automatizado e também a realização de orçamentos com os fornecedores de equipamentos e acessórios para possibilitar a execução da análise de investimento e do retorno sobre o investimento.

Referências

- Andrade, L., Figueiredo, J. & Tlemçani, M. (2021). A new RFID-identification strategy applied to the marble extraction industry. *Electronics*, 10, 1-16.
- Bertolini. (2021). *Sistemas de armazenagem*. <https://www.bertoliniarmazenagem.com.br/home>
- Brandão, B. (2020). *3 exemplos de WMS: aumente a produtividade da sua empresa!*. <https://maplink.global/blog/exemplos-de-wms/>
- Bukova, B., Brumercikova, E., Cerna, L. & Drozdziel, P. (2018). The position of Industry 4.0 in the worldwide logistics chains. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 9, 18-23.
- Draganjac, I., Petrovic, T., Miklic, D., Kovacic, Z. & Orsulic, J. (2020). Highly-scalable traffic management of autonomous industrial transportation systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 1-17.
- Fonseca, L. M. (2018). Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 12 (1), 386-397.
- Ghadge, A., Kara, M., Moradlou, H. & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31, 669-686.
- Glistau, E. & Machado, N. I. C. (2019). Solutions and trends in logistics 4.0. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, 12 (4), 129-132.

- Koman, G., Kubina, M., Bubeliny, O. & Gabrysová, M. (2019). Benefits of Industry 4.0 for logistics and decision-making of managers. *LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics*, 10 (2), 33-41.
- Liu, K., Bi, Y. & Liu, D. (2020). Internet of Things based acquisition system of industrial intelligent bar code for smart city applications. *Computer Communications*, 150, 325-333.
- Mecalux. (2021). *Soluções de armazenagem*. <https://www.mecalux.com.br/>
- Mehami, J., Nawi, M. & Zhong, R. Y. (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 26, 1077-1086.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusem, J. & Grote, K. H. (2005). *Projeto na Engenharia* (6a ed.). Blucher.
- Poli, G. A., Saviani, T. N., & Júnior, I. G. (2018). Logistics 4.0: A systematic review. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 9 (2), 32-47.
- Schaefer, SSI. (2021). *Automated guided vehicles in intralogistics*. <https://www.ssi-schaefer.com/en-th/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles>.
- Siemens. (2021). *Plant Simulation and Throughput Optimization*. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html>
- Sommerfeld, M. (2020). *WMS: O que é sistema de gerenciamento de armazém?*. <https://ibssystemas.com.br/wms-sistema-de-gerenciamento-de-armazem/>
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O. & Swahn, N. (2016). Importance of Production Environments When Applying Industry 4.0 to Production Logistics - A Multiple Case Study. *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, 6, 241-247.
- Szlapka, J. O., Wojciechowski, H., Domanski, R. & Pawlowski, G. (2019). Logistics 4.0 Maturity Levels Assessed Based on GDM (Grey Decision Model) and Artificial Intelligence in Logistics 4.0 - Trends and Future Perspective. *Procedia Manufacturing*, 39, 1734-1742.
- Tang, C. S. & Veelenturf, L. P. (2019). The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 1-11.
- Walker, J. (2021). *AMR vs AGV: A clear choice for flexible material handling*. <https://waypointrobotics.com/blog/amr-vs-agv/>
- Wang, L., He, J. & Xu S. (2017). The Application of Industry 4.0 in Customized Furniture Manufacturing Industry. *MATEC Web of Conferences*, 100, 1-4.
- Yan, X., Guo, H., Yu, M., Xu, Y., Cheng, L. & Jiang, P. (2020). Light detection and ranging/inertial measurement unit-integrated navigation positioning for indoor mobile robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17, 1-11.
- Yavas, V. & Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E*, 135, 1-18.