



Evanilde de Jesus Olinda Murta

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Coimbra, outubro de 2024



Evanilde de Jesus Olinda Murta

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Trabalho de projeto ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Inteligência Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento**, realizado sob a orientação da **Professora Doutora Ana Cristina dos Santos Amaro** e Supervisão do **Engenheiro Jorge Viterbo**.

Coimbra, outubro de 2024

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro ser a autora deste projeto, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de Ensino Superior para obtenção de um grau académico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação do presente projeto.

PENSAMENTO

“Depois de escalar uma grande montanha, descobre-se que existem muitas outras montanhas para escalar”

Nelson Mandela

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto à minha Mãe,
Ângela Murtar, por ter sido a pessoa
que idealizou e impulsionou a
realização deste Mestrado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a *Deus*, pelo Dom da Vida, e por todos os dons e graças que me tem concedido ao longo destes anos.

Agradeço aos meus professores e colegas de turma, pelos ensinamentos partilhados e pela experiência que foi este Mestrado.

E, agradeço à professora *Ana Amaro* e ao Engenheiro *Jorge Viterbo*, por me terem orientado na realização deste projeto.

RESUMO

A logística é a área da Cadeia de Abastecimento, responsável pela transferência de produtos e informações de um ponto inicial – fornecedor – para um ponto final – cliente, e vice-versa, de modo a assegurar a satisfação deste último. O lançamento de um novo produto, e a definição de requisitos logísticos de suporte ao mesmo, enfrenta sucessivos desafios, sendo o primeiro a previsão das vendas – para determinar o volume de produção, que atenda à procura do cliente, e em função dessa estimativa definir: a alocação do espaço necessário para armazenagem, os meios de movimentação e transporte interno a serem empregues, e finalmente, definir e mapear o fluxo interno de todas as operações anteriores. Para atender a esta necessidade, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura com base na metodologia PRISMA, para identificar e analisar os estudos até então desenvolvidos sobre o tema, e foi aplicada a metodologia *Action Design Research* (ADR), para desenhar a melhor solução para cada objetivo do projeto. No âmbito académico, este projeto representa um importante contributo para o estado da arte do corpo do conhecimento relativo a dimensões distintas da logística, congregadas num problema de negócios real, e abordadas como um todo. Para empresa, o projeto oferece soluções apresentadas como propostas para responder ao seu desafio pontual, à luz da ciência e das possibilidades existentes no mercado.

Palavras-chave: Previsão de Vendas, Alocação de Armazenagem, Armazenagem Automática, Mapeamento de Fluxos Internos, *Value Stream Mapping*.

ABSTRACT

Logistics is the part of the Supply Chain responsible for transferring products and information from one starting point – supplier – to one ending or consumption point – customer –, to meet the customer’s requirements. The launch of a new product and the definition of the logistics requirements to support it, faces successive challenges, being the first the sales forecast – to determine the production volume that satisfy the customer demand-, and based on this define: the storage space allocation required, the means of internal transport, and finally, to define and map the internal flow of the previous processes. To address this problem, a Systematic Literature Review was conducted based on the PRISMA methodology, to identify and analyze the studies developed on the subject, and the Action Design Research (ADR) methodology has been applied to design the solution that best fits the objectives of the project. In the academic field, this project represents an important contribute to the state-of-the-art of the body-of-knowledge, related to distinct dimensions of logistics brought together into a real business problem, approached as a whole. To the Company, this project offers solutions presented as proposals to respond to their actual need, considering the science (theory) and the existent possibilities in the market.

Keywords: Sales Forecast, Storage Allocation, Automatic Storage, Internal Flow Mapping, Value Stream Mapping.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|-----|
| TERMO DE RESPONSABILIDADE..... | ii |
| PENSAMENTO..... | iii |
| DEDICATÓRIA | iv |
| AGRADECIMENTOS | v |
| RESUMO..... | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| • Âmbito e Justificativa do Projeto..... | 1 |
| • Objetivos do Projeto | 1 |
| • Questões de Investigação..... | 1 |
| • Estrutura do Projeto | 2 |
| 1 Metodologia de Investigação Teórica..... | 3 |
| 2 Enquadramento Teórico..... | 5 |
| 2.1 A Logística e os Processos | 5 |
| 2.2 Planeamento de Produção | 6 |
| 2.2.1 Níveis de Planeamento..... | 6 |
| 2.2.2 Método de Produção (MTO vs. MTS)..... | 6 |
| 2.3 Previsão de Vendas | 8 |
| 2.3.1 A Importância da Previsão de Vendas na CA..... | 8 |
| 2.3.2 Componentes e tipologias de Previsão | 9 |
| 2.4 Armazenamento de Espaço | 12 |

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4.1 | Desenho de Armazém | 12 |
| 2.4.2 | <i>Layout</i> de Corredores Internos..... | 13 |
| 2.4.3 | Operações de Armazém e Potenciais Políticas de Armazenagem | 15 |
| 2.5 | Meios de Movimentação e de Transporte Interno..... | 17 |
| 2.5.1 | Seleção de Meios de Transporte Interno..... | 18 |
| 2.5.2 | Meios de Transporte Interno para Armazéns..... | 21 |
| 2.5.3 | Barreiras à Implementação de Soluções da I4.0. no armazém | 24 |
| 2.6 | Definição e Mapeamento de Fluxos Internos..... | 25 |
| 2.6.1 | A Importância do Mapeamento de Processos | 25 |
| 2.6.2 | Desenho do Fluxograma do Processo de Produção | 25 |
| 2.7 | Síntese | 26 |
| 3 | Metodologia de Investigação Aplicada..... | 28 |
| 4 | Apresentação da Entidade Acolhedora do Projeto | 30 |
| 4.1 | Breve Caracterização | 30 |
| 4.2 | Missão e Valores | 32 |
| 4.3 | Síntese | 32 |
| 5 | Enquadramento do Projeto Aplicado na Empresa | 33 |
| 5.1 | Análise dos Novos Produtos em Formato e Características..... | 33 |
| 5.2 | Previsão de Vendas | 34 |
| 5.2.1 | Formulação do Problema | 34 |
| 5.2.2 | Criação e Intervenção | 34 |
| 5.2.3 | Reflexão e Aprendizagem..... | 38 |
| 5.2.4 | Formalização da Aprendizagem | 40 |

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 5.3 | Método de Produção (MTO vs. MTS) | 41 |
| 5.3.1 | Formulação do Problema | 41 |
| 5.3.2 | Criação e Intervenção | 42 |
| 5.3.3 | Reflexão e Aprendizagem..... | 42 |
| 5.3.4 | Formalização da Aprendizagem | 42 |
| 5.4 | Meios de Movimentação e Transporte Interno | 43 |
| 5.4.1 | Formulação do Problema | 43 |
| 5.4.2 | Criação e Intervenção | 44 |
| 5.4.3 | Reflexão e Aprendizagem..... | 44 |
| 5.4.4 | Formalização da Aprendizagem | 45 |
| 5.5 | Armazenamento de Espaço – Onde e Como? | 46 |
| 5.5.1 | Formulação do Problema | 46 |
| 5.5.2 | Criação e Intervenção | 46 |
| 5.5.3 | Reflexão e Aprendizagem..... | 49 |
| 5.5.4 | Formalização da Aprendizagem | 50 |
| 5.6 | Definição e Mapeamento dos Fluxos Internos..... | 50 |
| 5.6.1 | Formulação do Problema | 50 |
| 5.6.2 | Criação e Intervenção | 53 |
| 5.6.3 | Reflexão e Aprendizagem..... | 55 |
| 5.6.4 | Formalização da Aprendizagem | 55 |
| 5.7 | Síntese | 57 |
| CONCLUSÃO | | 58 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 59 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Fases de implementação da metodologia PRISMA..... | 3 |
| Tabela 2. Enquadramento da Metodologia ADR..... | 28 |
| Tabela 3. Formatos da Nova Linha..... | 33 |
| Tabela 4. Tipos de Produtos..... | 33 |
| Tabela 5. Acabamento da Superfície | 34 |
| Tabela 6. Uso | 34 |
| Tabela 7. Estudo Comparativo do Erro..... | 38 |
| Tabela 8. Lista de Preços | 39 |
| Tabela 9. Previsão de vendas | 40 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Duas tipologias típicas de layout de corredores internos de W/H..... | 13 |
| Figura 2. Flying-V e Fishbone layouts internos de W/H..... | 14 |
| Figura 3. Layouts internos parabólicos de W/H | 15 |
| Figura 4. Critérios para tomada de decisão de TMM | 19 |
| Figura 5. Automated Guided Vehicle (AGV)..... | 22 |
| Figura 6. Autonomous Mobile Robot (AMR) | 22 |
| Figura 7. Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS) | 23 |
| Figura 8. Pallet Shuttle | 24 |
| Figura 9. Fachada Principal da Sede da Revigrés..... | 31 |
| Figura 10. Layout Revigrés | 31 |
| Figura 11. Previsão em Power BI para os novos formatos..... | 36 |
| Figura 14. Previsão vs. Teste (ARIMA 120x120)..... | 41 |
| Figura 15. Previsão vs. Teste (LSTM 120x278)..... | 41 |
| Figura 16. Ventosa usada no picking..... | 43 |
| Figura 17. Falcon Slab | 44 |
| Figura 18. Armazenamento de produtos da nova linha | 46 |
| Figura 19. Monos em stock no armazém 1..... | 47 |
| Figura 20. Slabstore | 48 |
| Figura 21. Slabstore | 48 |
| Figura 22. VSM do estado atual | 52 |
| Figura 23. VSM do estado intermédio..... | 54 |
| Figura 24. VSM do estado futuro | 56 |

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

ADR – *Action Design Research*

AGVs – *Automated Guided Vehicles*

AS/RS – *Automated Storage and Retrieval System*

CA - Cadeia de Abastecimento

DSR – *Design Science Research*

EMTI - Equipamentos e Meios de Transporte Interno

I4.0. – Indústria 4.0.

RSL – Revisão Sistemática de Literatura

TMM - Tecnologias de Movimentação de Material

W/H – Armazém

INTRODUÇÃO

O presente projeto surge no âmbito da componente não letiva do Mestrado em Inteligência Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento, o qual foi realizado na Empresa Revigrés, e está subordinado ao tema: “Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção”.

- **Âmbito e Justificativa do Projeto**

A abordagem deste tema, justifica-se pela necessidade de conferir suporte logístico à implementação e operacionalização da nova linha de produção, da entidade acolhedora do projeto. A nova linha de fabrico constitui um elemento fundamental nesta unidade industrial, pois irá assegurar a oferta de uma nova gama de produtos e, com isto contribuir para a diferenciação da Empresa no mercado da cerâmica. Deste modo, a Empresa lançou uma proposta composta por cinco objetivos.

- **Objetivos do Projeto**

1. Analisar os novos produtos em formato e características (nova linha);
2. Elaborar a previsão das vendas e definir o método de produção (MTO ou MTS);
3. Determinar onde e como armazenar espaço;
4. Definir os meios de transporte interno e de movimentação. E, identificar a necessidade de investimento; e
5. Definir e mapear os fluxos internos.

- **Questões de Investigação**

Os objetivos empresariais elencados, foram atendidos como objetivos do projeto académico e, a partir deles, foram formuladas as questões de investigação a que este trabalho deu resposta:

QI.1 Qual é a previsão de vendas para os novos formatos?

QI.2 Que método de produção deve ser adotado para os novos formatos (MTO ou MTS)?

QI.3 Que meios de movimentação e transporte interno devem ser usados? Existe a necessidade de investimento?

QI.4 Como alocar os recursos internos de espaço de armazenamento à Nova Linha?

QI.5 Qual é o fluxo interno do processo de produção da nova linha?

- **Estrutura do Projeto**

O projeto observa a seguinte estrutura: o primeiro capítulo resume a metodologia de investigação teórica - Revisão Sistemática de Literatura (RSL) -, aplicada; o segundo capítulo reporta as ideias mais relevantes das contribuições científicas recolhidas e analisadas no capítulo anterior; o terceiro capítulo resume o método empregue para o desenho das soluções para responder aos desafios propostos; no quarto capítulo é feita uma breve apresentação da Entidade Acolhedora do Projeto; o quinto capítulo compreende a construção e análise das soluções desenvolvidas para concretizar os objetivos do projeto, e responder às questões de investigação; e o sexto e último capítulo, apresenta as conclusões relativas à realização deste projeto.

1 Metodologia de Investigação Teórica

O desenvolvimento deste projeto, começa por uma componente de investigação teórica, levada à cabo através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), baseada na metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

A investigação desenvolvida consistiu numa RSL, pois, segundo Tranfield, et al. (2003) apud (Tubis & Rohman, 2023), este é o método mais efetivo de exploração lógica do atual estado do conhecimento, e desenvolvimento do conhecimento científico existente para determinado tema. Davis, et al. (2014) apud (Tubis & Rohman, 2023), consideram-no como sendo «o padrão de ouro», entre os métodos de revisão, e muitos autores o recomendam para identificar e coletar estudos relacionados de forma mais estruturada e reproduzível, *i.e.* Kable, et al. (2012). O planeamento e a preparação da RSL, observaram as seguintes etapas:

- Definição dos objetivos da investigação a ser realizada;
- Formulação das questões de investigação;
- Seleção do método de revisão de literatura; e
- Formulação das palavras-chave para investigação e para o projeto.

Para realizar a RSL, foi usada a metodologia PRISMA, a qual consistiu em quatro fases: identificação, triagem, qualificação e inclusão, as quais, estão descritas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Fases de implementação da metodologia PRISMA

| Fase | Descrição |
|----------------------|---|
| Identificação | Base de dados: Livros, B-on, Web of Science, EBSCO Palavras-chave: <i>Sales Forecast, warehouse assignment, automated warehouse, Mapeamento de Fluxos Internos, Value Stream Mapping</i> |
| Triagem | Delimitação temporal: 2016 – 2023 Tipo de documento: livros, revistas científicas, artigos, vídeos |

Qualificação Requisito qualitativo: compatibilidade temática

Inclusão Artigos incluídos para análise: 31

Fonte: Adaptada pela autora

Identificação: as bases de dados seleccionadas para investigação além dos livros, foram: a *B-on*, *Web of Science*, e EBSCO; que de acordo com Carter, et al. (2011) apud (Tubis & Rohman, 2023), são os repositórios de pesquisa técnica mais significantes e tipicamente usados em revisões de literatura. A identificação das publicações foi levada à cabo, através de pesquisas independentes das palavras-chave formuladas.

Triagem: foi realizada com base nos critérios de inclusão adotados. O primeiro foi o horizonte temporal (2016-2023), escolhido pelo facto de segundo Tubis & Rohman (2023), neste intervalo terem sido observadas mudanças no design e operação dos armazéns. O segundo critério foi o de documentos registados como artigos, isto para ir de encontro a publicações revistas por pares, o que comprova a qualidade dos resultados alcançados.

Qualificação: teve como objetivo a eliminação de artigos que não cumpriam com o requisito qualitativo estabelecido de compatibilidade temática, baseada no resumo dos documentos. Isto contribuiu para limitar os documentos a serem analisados na íntegra.

Inclusão: com base na seriação feita nas fases anteriores, 31 documentos foram seleccionados para análise.

2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo procede-se à análise das questões de investigação formuladas, à luz dos estudos publicados (i.e., contribuições científicas) em torno das mesmas.

2.1 A Logística e os Processos

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2013¹), define Logística como «a parte da Cadeia de Abastecimento (CA) responsável por planear, implementar e controlar, o eficiente e eficaz fluxo direto e indireto, e as operações de armazenagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e de consumo, para atender aos requisitos do cliente». Por seu turno, a *Association for Supply Chain Management* (ASCM), acrescenta que «a Logística é uma componente crítica e essencial de uma CA bem-sucedida» (Carvalho, 2017a).

A visão de alto nível do que é necessário para fabricar algum produto, pode ser dividida em três passos simples. O primeiro passo é o fornecimento das partes de que precisamos, seguido da produção do *item*, e então o envio do *item* ao cliente, Jacobs & Chase (2018a).

Um processo usualmente consiste num conjunto de tarefas, fluxos de materiais e de informações que ligam o conjunto de tarefas, e a subsequente armazenagem de material e de informação. Assim, num processo tem-se que:

- Cada tarefa alcança, num certo grau, a transformação do *input* no *output* desejado;
- O fluxo comporta duas vertentes: a do material, e a da informação que o acompanha. A primeira transfere um produto, de uma tarefa para a próxima. A segunda ajuda a determinar o quanto da transformação foi realizado na tarefa anterior, e o que exatamente sobrou para ser completado na presente tarefa;

¹ *The process of planning, implementing, and controlling procedures for the efficient and effective transportation and storage of goods including services, and related information from the point of origin to the point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements. This definition includes inbound, outbound, internal, and external movements.*

- Quando nenhuma tarefa está em decurso de realização, e nenhuma parte está a ser transferida, a parte deve ser armazenada. Produtos armazenados, à espera de serem processados pela próxima tarefa, são designados *work-in-process inventory*.

2.2 Planeamento de Produção

Uma área com cada vez mais importância para logística é a produção, pelo que o planeamento e o sequenciamento dessa produção assumem um papel vital. Isto porque existem fortes implicações entre estas atividades e a gestão dos fluxos de materiais, os stocks e a sua gestão. Uma vez que o planeamento deve atender à procura (pelo lado exterior ou das possíveis encomendas), a jusante, a logística tem um papel determinante na ligação entre essas encomendas e a produção, quer ao nível do planeamento quer ao nível do sequenciamento (Shapiro & Heskett, 1985), (McGee, Copacino & Rosenfield, 1985), (Coyle, Bardi & Langley, 1988), (Lambert & Stock, 1992), (Carvalho, 1996), (Johnson & Wood, 1996), (Langley et al., 2009) *apud* (de Carvalho, 2017a).

2.2.1 Níveis de Planeamento

A capacidade de elaborar previsões sobre horizontes futuros, mais ou menos longos, é um elemento de suporte indispensável em qualquer setor de atividade. No domínio da logística, as projeções da procura suportam as decisões de nível: estratégico, sobre o desenho e dimensionamento dos sistemas logísticos; tático, as projeções da procura funcionam como um *driver* para elaboração do planeamento integrado do abastecimento, da produção e da distribuição e; operacional, orientam a gestão corrente das operações, Carvalho (2017b).

2.2.2 Método de Produção (MTO vs. MTS)

O processo *Make-To-Order* (MTO), é ativado unicamente em resposta a uma encomenda atual. Ambos os inventários (WIP – *Work-in-Process* e FG – *Finished Good*), são mantidos a um nível mínimo, Jacobs & Chase (2018a). As empresas que adotam esta estratégia de produção, podem ter a matéria-prima para produzir ou montar o produto, mas não o produto final em si. O MTO é referido como um método de produção “puxado”

(*pull*), uma vez que a produção é definida pela ordem de encomenda (procura) do cliente, (Thomas Publishing Company LLC, 2019)

O processo MTO, permite às empresas produzir produtos personalizados de acordo com as especificações do cliente, e ajuda a minimizar o desperdício associado ao excesso de inventário, o qual é um risco noutros métodos de produção, Thomas Publishing Company LLC (2019).

No entanto, o método tem algumas desvantagens. Uma vez que os produtos não são produzidos antecipadamente, longos períodos de espera são requeridos para acomodar a receção da encomenda, produção, envio, e processos relativos. Não obstante, os produtos neste sistema não são de produção massiva, e consequentemente, o produto final personalizado pode ser mais oneroso para o cliente, Thomas Publishing Company LLC (2019).

Por outro lado, o processo *Make-To-Stock* (MTS), envolve a produção baseada na antecipação da procura do cliente, Thomas Publishing Company LLC (2019). Em geral, este processo termina com o inventário do produto acabado, e os pedidos dos clientes são então atendidos a partir desse inventário. O processo MTS também é usado quando a procura é sazonal, e a capacidade de fabrico não permite acomodar esses níveis de procura. Nesse caso, o inventário pode ser construído durante a época baixa e usado durante a época alta, o que permite que o processo corra a um ritmo constante ao longo do ano, Jacobs & Chase (2018a).

O MTS é um método “empurrado” (*push*), uma vez que os produtos são empurrados para produção, com base em vendas antecipadas. Uma das principais limitações do MTS, é a sua dependência da precisão da previsão de vendas. Previsões imprecisas, podem conduzir ao excedente de inventário, e portanto, aumentar a probabilidade de perda de receita, devido a custos de armazenagem, deterioração do material, roubo e danificação dos produtos, Thomas Publishing Company LLC (2019).

De acordo com Jacobs & Chase (2018a), as características de ambos os métodos podem ser combinadas, de modo a originar um processo híbrido. Na forma híbrida mais comum,

um produto genérico é fabricado e armazenado em algum ponto do processo. Essas unidades genéricas são terminadas num processo final, baseado em encomendas atuais.

2.3 Previsão de Vendas

Tradicionalmente uma atividade de natureza mais comercial, a previsão de vendas é essencial sob o ponto de vista da logística. E, se a previsão de vendas pode não ser o politicamente correto a abranger pela logística, já a previsão dos inventários, intimamente ligada à previsão de vendas, é essencial. Em qualquer caso, previsão de vendas ou, de forma mais focada a previsão de *stocks*, torna-se essencial à Gestão Logística. E, se os *stocks* e a sua previsão são importantes sob o ponto de vista da logística dos tangíveis, já a previsão da capacidade a instalar torna-se fundamental sob o ponto de vista dos serviços (Shapiro & Heskett, 1985), (McGee, Copacino & Rosenfield, 1985), (Coyle, Bardi & Langley, 1988), (Lambert & Stock, 1992), (Carvalho, 1996), (Johnson & Wood, 1996), (Langley et al., 2009) *apud* (de Carvalho, 2017b).

2.3.1 A Importância da Previsão de Vendas na CA

A previsão da procura, forma a base de todo o planeamento da CA. Se considerarmos o sistema puxado/empurrado da CA, todos os processos puxados são realizados em resposta à procura do cliente, enquanto os processos empurrados são realizados em antecipação à procura do cliente (Chopra, 2019).

Para processos empurrados, um diretor deve planear o nível de atividade, seja ela produção, transporte ou terceirização. Para processos puxados, um diretor deve planear o nível de capacidade e inventário, mas não a quantidade a ser produzida. Em ambas as instâncias, o primeiro passo a ser dado é prever qual será a procura do cliente (Chopra, 2019).

Segundo o autor, as seguintes são características das previsões:

- As previsões são sempre imprecisas, e deveriam, portanto, incluir o valor expectável da previsão e uma medição do erro de previsão. O erro de previsão (ou procura incerta) é um contributo-chave na maioria das decisões da CA;

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

- Previsões de longo prazo são, usualmente, menos precisas que previsões de curto prazo, isto é, as previsões de longo prazo têm um maior desvio padrão de erro, relativamente às previsões de curto prazo. Prever a procura de um mês, é mais difícil do que prever a procura de um dia;
- Previsões agregadas são, usualmente mais exatas que previsões desagregadas, uma vez que tendem a ter um menor desvio padrão relativamente às segundas, *i. e.*, a previsão da procura de uma família de produtos - previsão agregada - confere maior grau de exatidão, em relação à previsão da procura de um produto isolado – previsão desagregada;
- Em geral, quanto mais distante uma empresa estiver do consumidor na CA, maior será o nível de distorção da informação que ela irá receber.

2.3.2 Componentes e tipologias de Previsão

Para prever a procura, as empresas devem primeiro identificar os fatores que a influenciam, e daí averiguar a relação entre esses fatores e a futura procura (Chopra, 2019). Assim, é possível apontar fatores relativos à previsão da procura, tais como:

- Procura passada;
- Tempo de espera para reposição do produto;
- Plano de marketing e publicidade;
- Plano de descontos;
- Estado da economia; e
- Ações tomadas pelos competidores.

Os métodos usados para realizar previsões são, em geral, classificados de acordo com uma das seguintes tipologias, (Chopra, 2019):

- **Qualitativo:** é principalmente subjetivo. Este método é mais apropriado quando existem poucos dados históricos disponíveis – *i.e.*, quando o produto é novo ou existe pouca experiência na sua venda numa nova região – ou, quando os especialistas têm inteligência de mercado que pode afetar a previsão. De acordo

com Jacobs & Chase (2018), as seguintes são técnicas de previsão qualitativa: a pesquisa de mercado, o painel de consenso, e a analogia histórica;

- **Séries de tempo:** usam a procura histórica para elaborar previsões. Elas assumem que a história da procura passada, é um bom indicador da procura futura. Este método é mais apropriado quando os padrões básicos de procura, não variam significativamente de um ano para o outro. É um método simples de implementar, e pode servir como um bom ponto de partida para uma previsão de procura;
- **Causal:** assume que a previsão da procura está altamente relacionada com certos fatores no ambiente (o estado da economia, interesses, entre outros). Este método encontra a correlação entre a procura e esses fatores ambientais, e usa estimativas de quais serão os fatores ambientais para prever a procura futura;
- **Simulação:** imita as escolhas do consumidor que originam a procura, para chegar a uma previsão. Ao usar a simulação, uma empresa pode combinar as séries de tempo e os métodos causais, para responder a questões como: qual será o impacto de uma promoção? Qual será o impacto de um competidor abrir uma loja nas proximidades?

Uma empresa pode enfrentar dificuldades, para decidir qual o método mais apropriado para obter as suas previsões. De facto, vários estudos indicam que usar múltiplos métodos de previsão para criar uma previsão combinada, é mais efetivo do que usar qualquer método isolado (Chopra, 2019).

Componentes de uma Previsão

Em qualquer método de previsão, existe sempre um elemento aleatório que não pode ser explicado por padrões de procura históricos. Assim, qualquer procura observada pode ser dividida numa componente sistemática e outra aleatória:

$$\text{Observed demand (O)} = \text{systematic component (S)} + \text{random component (R)}$$

A **componente sistemática** mede o valor expectável da procura, e consiste no que o autor denominou *level*, a atual procura sem sazonalidade; *trend*, a taxa de crescimento ou

declínio na procura para o período seguinte; e *seasonality*, as flutuações sazonais previsíveis na procura (Chopra, 2019).

A **componente aleatória** é causada por eventos casuais. Estatisticamente, quando todas as causas conhecidas da procura (*level*, *trend* e *seasonality*) são subtraídas da procura total, o remanescente é a porção inexplicável da procura. Se não conseguimos identificar a sua causa, ela é assumida como evento puramente aleatório, Jacobs & Chase (2018).

O objetivo da previsão é estimar a componente sistemática, e o tamanho (não a direção) da componente aleatória – “ruído” – na forma de erro de previsão.

Horizonte da Previsão

Termos como *curto*, *médio* e *longo* são relativos ao contexto no qual são empregues. Na previsão de negócios *curto prazo* comumente se refere à um período inferior a três meses; *médio prazo* três meses a dois anos; e *longo prazo* superior a dois anos. Previsões de curto prazo são geralmente usadas para orientar decisões táticas, tais como, reabastecimento de inventário ou programação de funcionários no curto prazo, e previsões de médio prazo são aplicadas para planear a estratégia necessária, para atender a procura ao longo dos próximos seis meses à um ano e meio, Jacobs & Chase (2018).

No entender de Chopra (2019), os modelos de curto prazo compensam as variações aleatórias e ajustam-se à mudanças de curto prazo, e por esse motivo tendem a ser mais precisos. Previsões de médio prazo são úteis para capturar efeitos sazonais, e os modelos de longo prazo detetam tendências gerais e identificam principais pontos de viragem.

A seleção do modelo de previsão comporta outros problemas tais como, o grau de flexibilidade da empresa (quanto maior for a habilidade para reagir rapidamente a mudanças, menor precisão é requerida da previsão). Outro aspeto, é a consequência de uma má previsão. Se a decisão de um investimento de grande capital é baseada em uma previsão, então, ela deve ser boa, Jacobs & Chase (2018).

2.4 Armazenamento de Espaço

A visão tradicional dos sistemas de armazenagem, é que estes devem providenciar os meios para manter o inventário de determinado material ou produto no nível requerido, no ambiente mais apropriado e ao menor custo possível. Nesta visão clássica, os armazéns não adicionam valor à CA, Carvalho (2017a).

De acordo com o autor, os novos modelos de armazenagem colocam uma ênfase crescente, na otimização dos fluxos físicos em detrimento da lógica de otimização do espaço. Assim, a configuração básica do armazém mudou, no sentido de requerer:

- Maior flexibilidade de *layout*;
- Mais espaço de chão para operar e menos altura, ou seja, menor densidade de ocupação de espaço;
- Maior número de portas e atividades na zona exterior;
- Maiores competências de gestão de otimização de processos; e
- Maior automação «*soft*» em detrimento da automação «*hard*».

2.4.1 Desenho de Armazém

O desenho do *layout* de armazém pode ser dividido em dois problemas, De Koster, Leduc & Roodbergen, (2007) *apud* Tufano *et al.* (2022): o desenho do *layout* da instalação e o desenho do *layout* interno. Aquele visa decidir onde localizar os vários departamentos como a receção, a armazenagem, o *picking*, a classificação e o *shipping*, de modo a minimizar o custo de movimentação. Este concerne à determinação do número de blocos, e o número, comprimento e largura dos corredores em cada bloco da área de *picking*, no sentido de minimizar a distância percorrida e os custos operacionais. Gu, Goetschalckx & McGinnis, (2010) *apud* Yang *et al.* (2022), indicam que os problemas de *layout* de armazém, afetam a sua performance incluindo custos de movimentação, capacidade de armazenagem, utilização de espaço e de equipamento.

Atualmente, uma forma de reduzir o número de movimentações e melhorar a eficiência do armazém, é pela otimização da alocação de espaço de armazenagem durante o

empilhamento, Zhang, et al., (2015); Chang & Zhu (2020) *apud* Fan et al. (2021). Isto é, a configuração interna é ordenada de acordo com a sequência de recuperação, com recurso a um número mínimo de realocações, Lee & Hsu (2007); Gheith, et al. (2016) *apud* Fan et al. (2021).

2.4.2 Layout de Corredores Internos

Em armazéns, o *layout* dos corredores internos é a base do planeamento do espaço de armazenagem, e da gestão da programação da operação que afetam diretamente a taxa de utilização de espaço, a eficiência de acesso, a dificuldade de ajustar o *layout*, o consumo de energia da operação no seu todo, e o custo total de armazenagem, Zhang et al. (2021).

Segundo os autores, os tradicionais *layouts* de armazém, carecem de pesquisa quantitativa detalhada do mecanismo de eficiência do *layout* do corredor em si. Na prática, ele é usualmente baseado nas análises qualitativas para escolha de um modo básico de *layout*, que depois combina os parâmetros de especificação tais como a largura do corredor, e o tamanho das estantes de acordo com as especificações relevantes do desenho. A maior parte dos armazéns retangulares comuns, são baseados na experiência e na intuição, e usam o *layout* de estantes paralelas e corredores ortogonais de via reta, como ilustra a **Figura 1**, Yuan (2016) *apud* Zhang et al. (2021).

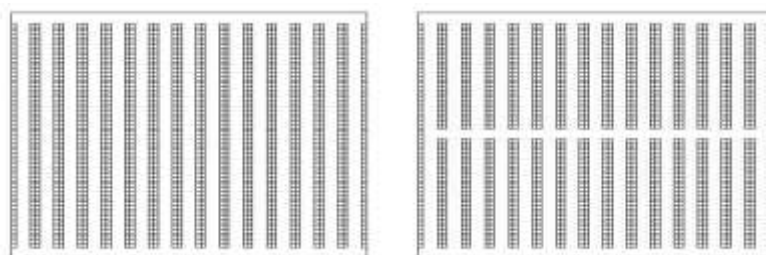


Figura 1. Duas tipologias típicas de layout de corredores internos de W/H

Fonte: Research Gate

Em 2009, Gue & Meller *apud* Zhang et al. (2021) apresentaram de forma inovadora dois novos *layouts* internos de armazém com corredores transversais inclinados: *Flying-V* e *Fishbone*, como ilustra a **Figura 2**. Os resultados das simulações numéricas, mostram que os novos *layouts*, baseados na otimização e modelação de ângulos entre corredores,

podem reduzir a distância média total de *picking* em cerca de 10% e 20%, respetivamente, comparativamente aos *layouts* tradicionais (Zhang et al., 2021). Segundo Cardona et al. (2012) *apud* (Zhang et al., 2021), este é possivelmente o desenho de *layout* que pode ser mais rapidamente aplicado e praticado.

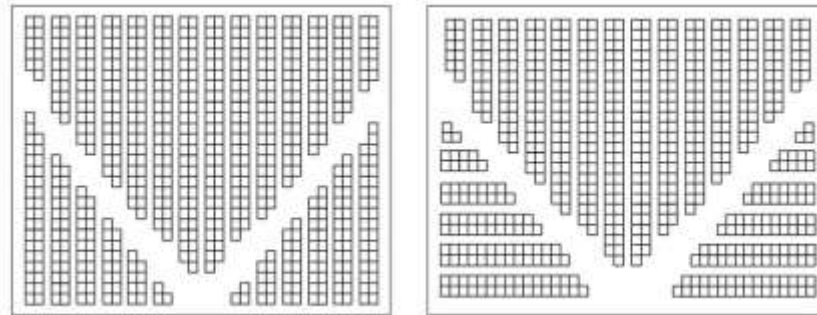


Figura 2. *Flying-V e Fishbone layouts internos de W/H*

Fonte: Research Gate

No entanto, a revisão da literatura mostra que ambos os *layouts* acima mencionados (tradicional e não tradicional), têm uma limitação. A trajetória do corredor é basicamente uma linha reta ou segmento de linha reta, por defeito. A escolha de corredores retos, tornou-se um padrão no *layout* (Zhang et al., 2021).

Para suprir essa limitação, os autores ampliaram a visão da seleção da trajetória de corredor, e propuseram a exploração do método de *layout* de caminho curvo. Com foco no problema do *layout* de corredor curvo, eles selecionaram os *layouts* não tradicionais propostos por Gue & Meller (2009) - *Flying-V* e *Fishbone* -, para levar a cabo a transformação curva da trajetória parabólica de corredores transversais. A trajetória reta dos corredores transversais inclinados no *layout* original, é mudada para uma parábola, mas a característica reta dos corredores horizontais e verticais cruzados permanece imutável (Figura 3).

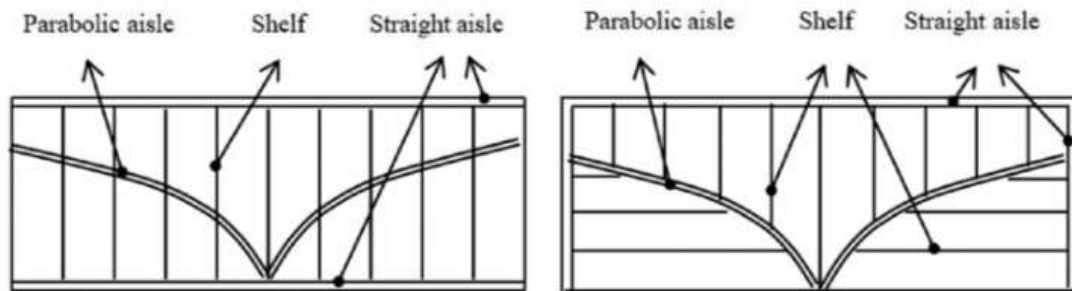


Figura 3. Layouts internos parabólicos de W/H

Fonte: Research Gate

O *layout* de corredor parabólico expande a forma da trajetória do corredor transversal, e poderia obter um esquema de *layout* com maior eficiência de *picking* (pois ele alarga a região viável do modelo de otimização), sem afetar significativamente o rácio de utilização da área do armazém (pois, ele não altera o número de corredores cruzados).

2.4.3 Operações de Armazém e Potenciais Políticas de Armazenagem

Operação de Armazenagem

Armazenagem refere-se às atividades de transporte de inventário recebido da área de descarga para locais específicos de armazenagem no armazém, bem como a sua guarda nestes locais até que os mesmos sejam requisitados, Ahmed (2020) *apud* (McInerney & Yadavalli, 2022). As políticas de armazenagem especificam a localização dos produtos no armazém, Petersen (1999) *apud* (McInerney & Yadavalli, 2022).

No entender de Bevilacqua, et al. (2019) *apud* McInerney & Yadavalli (2022), uma política de armazenagem efetiva visa:

- Minimizar o tempo e reduzir a distância percorrida durante o processo de *picking*;
- Minimizar o custo de armazenagem; e
- Aumentar a eficiência do armazém.

A literatura descreve cinco principais políticas de alocação de armazenagem: aleatória, o mais próximo livre, dedicada, baseada na rotatividade e baseada em classes.

Políticas de armazenagem

Aleatória, coloca o inventário recebido arbitrariamente em qualquer contentor de armazenagem vazio. Esta política só é efetiva, quando suportada por um sistema computadorizado. A localização do produto deve ser registada com precisão, em um sistema de gestão de inventário fiável. De contrário, os produtos se tornam impossíveis de localizar durante o processo de *picking*. Ela é popular, graças à sua facilidade de implementação e habilidade de adaptação em linha com as flutuações da procura, Bahrami, et al. (2019) *apud* McInerney & Yadavalli (2022). Contudo, a ausência de locais de armazenagem definidos, resulta em desorganização, pobre uso da informação do produto, e tempos de *picking* mais longos em grandes armazéns, Quintanilla, et al. (2015) *apud* McInerney & Yadavalli (2022).

O mais próximo livre, esta política coloca o inventário recebido no contentor de armazenagem vazio mais próximo. Como resultado, os produtos ficam aglomerados em torno da área de receção, e dispersos no fundo do armazém, Le-Duc & De Koster (2005) *apud* McInerney & Yadavalli (2022).

Dedicada, aloca os produtos a áreas fixas de armazenagem. Quando o *stock* de um produto termina, a sua área de armazenagem designada permanece vazia. Todavia, os operadores de *picking* se tornam familiarizados com o *layout* de armazenagem dos produtos, e podem localizá-los mais rápido, Le-Duc & De Koster (2005) *apud* McInerney & Yadavalli (2022).

Baseada na rotatividade, é uma forma de armazenagem dedicada, na qual os produtos são alocados à locais de armazenagem com base na sua rotatividade. Produtos com alta rotatividade, são colocados próximo à área de *shipping*, e produtos com baixa rotatividade são colocados longe da área de *shipping*, Yu, et al. (2015) *apud* McInerney & Yadavalli (2022). A rotatividade dos produtos flutua, o que requer uma frequente realocação de *stock*, Bahrami, et al. (2019) *apud* McInerney & Yadavalli (2022).

As políticas de armazenagem dedicada e do mais próximo livre, são extremos do espectro de políticas de armazenagem (Bahrami, et al., 2019) *apud* (McInerney & Yadavalli,

2022). Da sua combinação, surge a política de armazenagem baseada em classes. Ela é comumente implementada na prática, pois congrega as vantagens de ambas as políticas (Bahrami, et al., 2019) *apud* (McInerney & Yadavalli, 2022).

Armazenagem baseada em classes, divide os produtos em classes com base em critérios pré-definidos. Classes específicas são então alocadas a áreas dedicadas do armazém. Dentro dessas áreas, os produtos são colocados de forma aleatória, no seguimento da política do mais próximo livre. Esta política, é de fácil implementação, simples de gerir, flexível na resposta à mudanças na procura, e reduz o tempo de *picking* (Bahrami, et al., 2019) *apud* (McInerney & Yadavalli, 2022). Os critérios de classes com melhor performance são: a classificação ABC, o agrupamento de família, e a combinação de vendas atuais.

2.5 Meios de Movimentação e de Transporte Interno

Na literatura, Oxley (1994); Govindaraj, et al. (2000); Ambroziak, et al. (2013); Jacyna, et al. (2015) *apud* Pyza et al. (2017), advogam que ao desenhar a configuração do armazém, são importantes dentre outros, aspetos como a escolha dos meios de transporte interno.

O sistema de transporte interno, consiste nos seguintes elementos básicos: material transportado, unidades de movimentação e de transporte, veículos de transporte e instalações de movimentação, pessoal e sistemas da organização, e a gestão dos processos de transporte na empresa, Rybansky, et al. (2006) *apud* Horňáková et al. (2021).

De acordo com Davich (2010) *apud* Horňáková et al. (2021), na maioria das operações, a movimentação de materiais pode contabilizar entre 30% –75% do custo total de produção de um *item*. Além disso, numa típica empresa de produção, a movimentação de material conta para 25% dos funcionários, 55% de todo espaço de fábrica, e 87% do tempo de produção. Segundo os autores, no setor de produção, o tempo consumido na movimentação e transporte de materiais/produtos, pode ser tanto quanto o tempo gasto em processos de valor acrescentado.

2.5.1 Seleção de Meios de Transporte Interno

A eficiência dos processos do armazém, é determinada pela performance dos equipamentos e meios de transporte interno usados, Ballou (1984); Campbell (1996); Jacyna, et al. (2015) *apud* Pyza et al. (2017). Um importante aspeto a ser considerado, ao avaliar a eficiência do funcionamento das instalações do armazém, é a minimização do tempo de concretização de encomendas, e a melhoria do nível de serviço ao cliente. Neste sentido, Pyza et al. (2017) dizem-nos, que importante papel é desempenhado pelos ciclos de transporte, por sua vez, esse tempo é determinado pela apropriada seleção dos Equipamentos e Meios de Transporte Interno (EMTI), no contexto de processos de armazém realizados.

2.5.1.1 Estágios de Seleção de Meios de Transporte Interno

Jacyna, et al. (2015) *apud* Pyza et al. (2017), afirmam que a efetiva seleção de um EMTI nas instalações do armazém, deveria ser levada à cabo em dois estágios:

- Em termos do seu propósito funcional, condicionada pela situação tecnológica específica;
- Para tarefas complexas, condicionada pelo volume anual de carga.

2.5.1.2 Definição de Critérios de Tomada de Decisão

A abrangente priorização de Tecnologias de Movimentação de Material (TMM) baseadas na Indústria 4.0. (I4.0.) em armazéns inteligentes e sustentáveis, precisa considerar conflituantes critérios económicos, ambientais, sociais e técnicos. Doze critérios para tomada de decisão, agrupados em quatro aspetos são propostos por Simic et al. (2023) e apresentados na **Figura 4**, para oferecer um enquadramento prático de avaliação, para Diretores Logísticos.

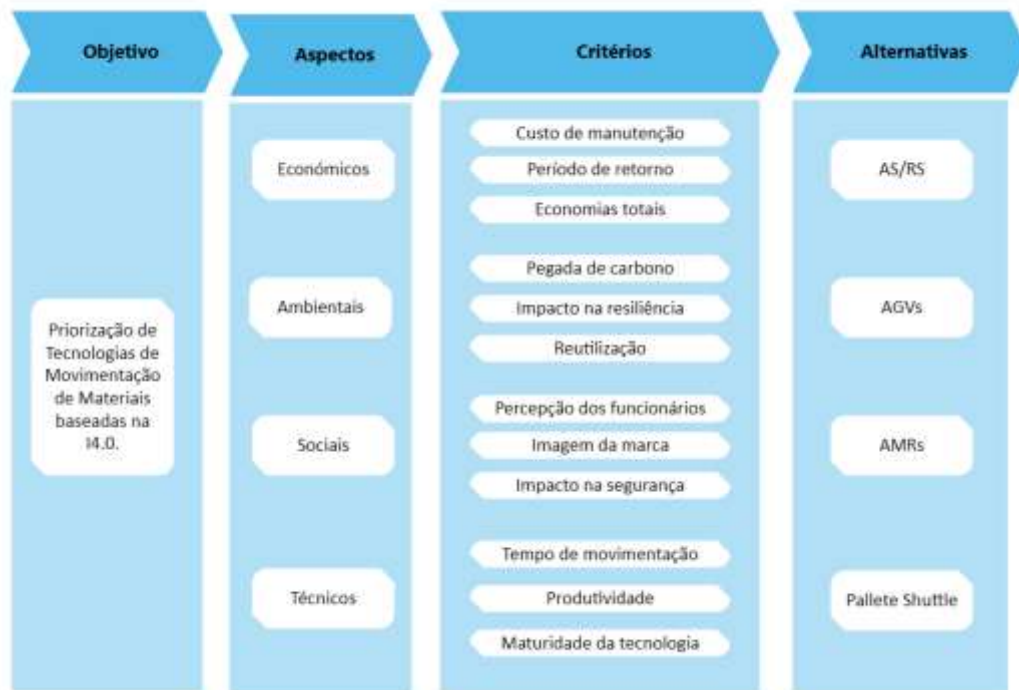


Figura 4. Critérios para tomada de decisão de TMM

Fonte: Adaptada de Simic et al. (2023)

Aspetos económicos:

- Custo de manutenção (c_1) – despesas totais anuais em serviço e reparação de equipamentos/veículos de uma alternativa implementada, Aguiar, *et al.* (2019); Raj & Sah (2019);
- Período de retorno (c_2) – a duração de tempo requerida, para o retorno total do investimento em uma TMM inteligente, calculada em termos de lucros, Llopis-Albert *et al.* (2019); Yavas & Ozkan-Ozen (2020);
- Economias totais (c_3) - o rácio de custos e economias em instalações, equipamentos, salários, e outros investimentos, para introduzir uma tecnologia alternativa em um sistema de armazém, Chowdhury & Emelogu (2017); Deveci & Gokasar (2022).

Aspetos ambientais:

- Pegada de carbono (c_4) - total de emissões por período planeado de uma TMM, quando implementada em um armazém inteligente e sustentável, Park, *et al.* (2018); Aydin, *et al.* (2023);
- Impacto na resiliência (c_5) - sustentabilidade de produtos e práticas de armazenagem existentes, na movimentação de material, Wagner & Włochowicz (2021); Ali & Phan (2022);
- Reutilização (c_6) - a habilidade de prolongar o uso de recursos em atividades logísticas de armazém, e contributo para economia circular, Deveci, *et al.* (2022).

Aspetos sociais:

- Perceção dos funcionários (c_7) - a prontidão dos funcionários em um sistema de armazém, para adotar completamente uma nova TMM, Raj & Sah (2019); Todorović, *et al.* (2022);
- Imagem da marca (c_8) – a melhoria da perceção dos clientes de uma empresa de logística, pela implementação de uma TMM inteligente no seu sistema de armazém, Gupta, *et al.* (2022); Kembro (2022);
- Impacto na segurança (c_9) - possibilidade de melhorar a segurança do armazém, Aguiar, *et al.* (2020); Fata, *et al.* (2021).

Aspetos técnicos:

- Tempo de movimentação (c_{10}) - o tempo total que um sistema de armazenagem leva, para obter produtos prontos para expedição, Bairagi, *et al.* (2015); Deveci, *et al.* (2022);
- Produtividade (c_{11}) - a possibilidade de uma tecnologia alternativa, para reduzir atividades de armazenagem sem valor acrescentado, erros de movimentação, e melhorar a visibilidade das operações, Deveci, *et al.* (2022);
- Maturidade da tecnologia (c_{12}) – o nível de experiência e especialidade, como fatores limitativos na integração de uma TMM, em um sistema de armazenagem existente, Saturno, *et al.* (2017); Agatz, *et al.* (2018).

2.5.2 Meios de Transporte Interno para Armazéns

Como núcleo de um sistema logístico moderno, o ASS (*Automated Storage System*) é vital para que as firmas otimizem a eficiência da produção. Empresas podem reduzir os custos das operações, através da adoção de equipamentos de automação e uso racional dos recursos, Hu et al. (2023). Em sistemas de produção e armazenagem, uma variedade de sistemas automáticos tem sido adotada para transportar produtos, tais como: *Automated Storage and Retrieval System* (AS/RS), *Automated Guided Vehicles* (AGVs) e *Autonomous Mobile Robots* (AMRs) Qi et al. (2018).

2.5.2.1 Automated Guided Vehicles (AGVs)

Um AGV (**Figura 5**) é um sistema de movimentação de material avançado, amplamente usado em vários sistemas automáticos, Qi et al. (2018). AGVs são uma tecnologia madura, que pode transportar cargas que variam entre vários quilos à múltiplas toneladas, em grandes áreas. AGVs navegam ao longo de caminhos guiados pré-definidos, tecnologias de orientação incluem sensores óticos, guia de inércia, e tecnologias *wireless*. Eles podem realizar uma série de paragens programadas e executar diferentes tarefas como levantar e pousar *itens*, Rhazzaf & Masrour (n.d.).

2.5.2.2 Autonomous Mobile Robots (AMRs)

De acordo com FOODMACH (2019) *apud* Horňáková et al. (2021), AMRs (**Figura 6**) são diferentes de AGVs no seu nível de autonomia. AMRs são robôs e, portanto, possuem computação e lógica interna. Eles navegam via mapas que são construções de *software*, baseadas em desenhos das instalações pré-carregados. Eles podem responder de forma dinâmica ao seu ambiente operacional, para contornar obstáculos como paletes, pessoas e empilhadores, ao encontrar rotas alternativas para realizar tarefas e movimentar cargas CROSS (2019) *apud* Horňáková et al. (2021).



Figura 5. Automated Guided Vehicle (AGV)

Fonte: www.systemceramics.com



Figura 6. Autonomous Mobile Robot (AMR)

Fonte: openpr.com

2.5.2.3 Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS)

AS/RS (Figura 7) são uma solução cada vez mais desenvolvida em armazéns ao redor do mundo. Estes sistemas executam operações de armazenagem e recuperação de produtos, usualmente paletes ou caixas em estruturas de estante automaticamente, através de máquinas especialmente desenvolvidas para esse propósito, designadas máquinas de armazenagem e recuperação, e podem ser empilhadores, mini cargas ou veículos de transporte, dependendo do tipo de AS/RS, Roodbergen & Vis (2009) *apud* Fernandes et al. (2019). Segundo Oudheusden and Dirk (1994) *apud* Kumar et al. (2021), um armazém com um sistema AS/RS, poderia ser considerado como um armazém automático. Eben-Chaime (1996) *apud* Kumar et al. (2021), dizem-nos que “um sistema de armazenagem automática, consiste em estantes, sistemas de armazenagem/recuperação, entradas/saídas, e dispositivos de controle computadorizados”.



Figura 7. Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS)

Fonte: Toyota Material Handling

2.5.2.4 Pallet Shuttle

O *Pallet/Box Shuttle* (Figura 8) é um tipo de AS/RS desenvolvido recentemente, e o mais emergente nos últimos anos, Fernandes et al. (2019). Zou et al. (2018) *apud* Zhen et al. (2023), afirmam que a velocidade desta lançadeira tem um impacto mais significativo no desempenho do armazém do que a dos AGVs. Cargas são armazenadas e removidas das

estantes por este sistema à alta velocidade, e o equipamento de movimentação de carga da lançadeira, é designado para curtos tempos de entrega, Yetkin Ekren (2017).



Figura 8. Pallet Shuttle

Fonte: interlakemecalux.com

2.5.3 Barreiras à Implementação de Soluções da I4.0. no armazém

De acordo com Kumar *et al.* (2022) *apud* (Simic *et al.*, 2023), as principais barreiras à implementação de soluções da I4.0. no armazém são:

- Longo tempo de retorno do investimento;
- Mercado altamente competitivo e incerto;
- Falta de conhecimento técnico e suporte;
- Falta de mão-de-obra qualificada;
- Falta de infraestrutura física;
- Falta de infraestrutura de tecnologias de informação; e
- Falta de suporte financeiro.

2.6 Definição e Mapeamento de Fluxos Internos

2.6.1 A Importância do Mapeamento de Processos

De acordo com Wildauer (2015) *apud* (Domingues et al., 2019) “o mapeamento de processos permite ao gestor enxergar diversos pontos que interferem na operação dos mesmos: positivos (fortes), negativos (fracos), de gargalo (críticos), de retrabalho, de alto custo, de demora, de falha, de ociosidade, entre outros”. Assim, mapear um processo facilita a implementação de melhorias e o aprimoramento da performance.

O mapeamento do processo permite reduzir a distância entre operações, melhorar a utilização do espaço, reduzir o tempo de produção, evidenciar o desperdício, o excesso de *stock*, e movimentações lentas (Fabrício, et al., 2017) *apud* (Lengowski et al., 2019).

O mapeamento do fluxo de valor, apresenta dois tipos de mapas (Wildauer, 2015) *apud* (Domingues et al., 2019):

O mapa do estado atual: que simboliza a operação atual dos processos que formam a cadeia de valor do sistema, e o atual fluxo de informação, equipamentos, pessoas e todos os elementos da linha de produção; e

O mapa do estado futuro: que representa a inclusão do conhecimento dos gestores, e as estratégias organizacionais e específicas de cada setor, dos elementos que compõem as linhas de produção, e as melhorias que podem ser implementadas a um plano de ação.

2.6.2 Desenho do Fluxograma do Processo de Produção

O desenho do fluxo do processo de produção, é um método para avaliar os processos específicos, que a matéria-prima e as partes seguem, consoante se movem através das instalações da fábrica. De facto, o primeiro passo ao analisar qualquer sistema de produção é mapear os fluxos e operações, com recurso ao uso de alguns gráficos e desenhos, como: gráficos de montagem, folhas de rota e fluxogramas (Jacobs & Chase, 2018b).

O foco ao analisar uma operação de produção, deveria ser a identificação de atividades que podem ser minimizadas ou eliminadas, como movimentações e armazenagem dentro

do processo. Como regra, quanto menos movimentações, demoras, e armazenagens no processo, melhor será o fluxo (Jacobs & Chase, 2018b).

2.6.2.1 Value Stream Mapping (VSM)

Para Jacobs & Chase (2018b), o VSM é uma técnica *lean* que no contexto de processos de produção, é usada para identificar todos os processos de valor acrescentado, assim como, processos que não acrescentam valor, aos quais o material está sujeito dentro da fábrica, desde a matéria-prima que entra até o produto final entregue ao cliente. A ferramenta também ilustra a informação usada para controlar o fluxo através do processo.

O VSM é um processo que compreende duas partes – a primeira descreve o estado atual do processo, e a segunda um possível estado futuro (Jacobs & Chase, 2018b). O VSM do estado atual evidencia e elimina a fonte de desperdício, pela investigação ao usar o VSM do estado futuro. O VSM do estado futuro é o “roteiro” para realizar um sistema *lean*, pois, ele se torna então a base para levar à cabo as necessárias mudanças no sistema.

Custos de produção mais baixos, tempos de resposta ao cliente mais rápidos e produtos de alta qualidade, são *outputs* que podem ser esperados quando se aplica o VSM a um processo de produção (Jones and Womack 2002; Pavnaskar, Gershenson, and Jambekar 2003; Rother and Shook 2003) *apud* (Lacerda et al., 2016).

2.7 Síntese

A logística gere a transferência de produtos, serviços, e informações de um ponto de origem para outro de destino, e vice-versa, com a finalidade de satisfazer as necessidades do cliente, e reduzir custos operacionais. O primeiro processo nessa atividade, é o de prever a procura do cliente, isto é, a necessidade que se propõe satisfazer. O *output* deste exercício, confere bases alicerçadas nas quais são tomadas decisões de nível operacional, tático e estratégico. O segundo processo, é a armazenagem de materiais com o objetivo de otimizar os seus fluxos, através da redução das movimentações; das distâncias a serem percorridas e do tempo de viagem, sobretudo em processos de *picking*; e dos custos de armazenagem. A correta seleção dos EMTI desempenha um papel fulcral nesse processo.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Estes devem assegurar a eficiência e segurança das operações. O último processo logístico, para este projeto, respeita à definição e mapeamento dos fluxos internos. A primeira, se traduz em determinar as tarefas que são realizadas para criar valor para o cliente, através da oferta de produtos e serviços. O segundo, consiste numa representação visual dessas tarefas cuja finalidade, é a obtenção de informação destinada a suportar decisões com vista a melhoria contínua dos processos.

3 Metodologia de Investigação Aplicada

O desenvolvimento deste projeto, compreendeu, também uma segunda componente de desenvolvimento de soluções que configuram uma investigação aplicada.

Para concretizar os objetivos de investigação aplicada, foi usado o método *Design Science Research* (DSR). Esta abordagem procura desenhar novos meios de atuação por forma a mudar e melhorar determinada realidade (Venable et al., 2017). Para conduzir o DSR foi utilizada a metodologia *Action Design Research* (ADR). A escolha desta metodologia em detrimento das outras, está assente num enquadramento composto por sete elementos, dois dos quais possuem alguns subelementos, conforme ilustra a **Tabela 2**.

Tabela 2. Enquadramento da Metodologia ADR

| Elementos e subelementos | Caracterização da Metodologia |
|---------------------------------|---|
| 1. Filosofia | Qual é a essência da sua abordagem? |
| a. Paradigma | Subjetivista e Interpretativo |
| b. Objetivos | Aumentar a relevância da investigação; Significância Prática; e Serviço ao cliente (Entidade Acolhedora) |
| c. Domínio | Um único cliente (Entidade Acolhedora) |
| 2. Modelo | Mecanismo básico de abstração e representação: texto |
| 3. Âmbito (estágios) | <ul style="list-style-type: none"> a. Formulação do problema; b. Criação e Intervenção (CI); c. Reflexão e aprendizagem; d. Formalização da aprendizagem. |
| 4. Prática | <ul style="list-style-type: none"> a. <i>Background</i>: académico b. Participantes: Autora, Orientadora e Supervisor (Entidade Acolhedora) |
| 5. Produto | Documentação |

Fonte: Adaptado de Autor

Para Venable et al. (2017), a atribuição de um paradigma de pesquisa à uma metodologia de DSR, é algo controverso e requer alguma justificação. Segundo os autores, o paradigma de uma metodologia de DSR é amplamente refletido na sua forma de tratar o problema, no seu *stakeholder*, e na avaliação. O ADR, inclui especificamente, a formulação do problema baseada em necessidades locais (não na literatura), e conta com a colaboração do *stakeholder* – neste caso a Entidade Acolhedora do Projeto, representada na pessoa do Supervisor -, nesse processo, como também na avaliação, o que demonstra uma postura mais subjetivista e interpretativa. O ADR proposto por Sein et al. (2011) *apud* Venable et al., (2017), inclui quatro estágios de investigação, nomeadamente:

Formulação do Problema

Compreende a definição do problema que se propõe resolver. O fio condutor desta investigação, é o planeamento e gestão da produção da nova linha, que representa um desafio para empresa, uma vez que esta não tem experiência no fabrico e venda de grandes formatos. Este problema, por sua vez, comporta quatro dimensões, as quais deram origem à formulação das questões de investigação, já apresentadas na introdução deste relatório.

Criação e Intervenção (CI)

Consiste na concretização dos objetivos do projeto, traduzida na criação (réplica), e adaptação de soluções baseadas em estudos da literatura, e não só, para responder às questões de investigação. As soluções apontadas, representam a proposta da organização dos processos logísticos para nova linha.

Reflexão e Aprendizagem

Refere-se a reflexão sobre o *design* e *redesign* durante o projeto, a análise dos resultados da intervenção de acordo com os objetivos definidos, e a compreensão de como os mecanismos usados na criação e intervenção se articulam com a teoria.

Formalização da Aprendizagem

Visa sistematizar e comunicar os resultados atingidos, na forma de resposta às questões de investigação formuladas.

4 Apresentação da Entidade Acolhedora do Projeto

Este capítulo, tem como objetivo apresentar a Empresa que propôs e onde o projeto foi realizado, nomeadamente: indicar o seu ramo de atividade, missão e valores.

4.1 Breve Caracterização

A Revigrés é uma empresa 100% portuguesa, criada por um grupo de empresários em 1977, especializada na produção de revestimentos e pavimentos cerâmicos. A Revigrés foi fundada pelo Engenheiro Adolfo Roque (1934-2008), que foi Presidente da empresa até 2007, e muito cedo se destacou em um país com uma forte tradição cerâmica, através do investimento em *design* e inovação (Revigrés, 2023).

A empresa se encontra localizada no Apartado 1 (Vale do Grou), 3754-001 Barrô – conselho de Águeda, e conta com uma delegação na Praça José Fontana nº 26 A-C, 1050-129 em Lisboa.

A Revigrés colabora estritamente e em parceria com profissionais no mercado doméstico e internacional, e é várias vezes escolhida para integrar projetos de grande impacto. Ênfase é dada à *Basílica La Sagrada Família* em Barcelona, para qual a Revigrés desenvolveu cores personalizadas da coleção Cromática (Revigrés, 2023).

A empresa está presente, também, em espaços como aeroportos, estações de metrô e centros comerciais. E, em marcas que incluem a: *Jo Malone, Victoria's Secret, McDonald's, Warner Lusomundo, Starbucks, Bentley e Rolls Royce* (dos Santos, 2021).

A **Figura 9** e **Figura 10**, ilustram a fachada principal e o *layout* da Empresa.



Figura 9. Fachada Principal da Sede da Revigrés

Fonte: www.revigrés.pt



Figura 10. Layout Revigrés

Fonte: www.revigrés.pt

4.2 Missão e Valores

Missão

Ajudar a criar ambientes únicos e inspiradores, através de soluções tecnicamente avançadas de cerâmica, com alma portuguesa.

Valores

Exclusividade: flexibilidade nas soluções oferecidas, com um *design* exclusivo e personalizado, para atender às especificações de cada projeto e necessidade dos clientes.

Design e Criatividade: a capacidade de desenvolver diferentes produtos, e criar ambientes inspiradores e surpreendentes, que refletem os desejos e aspirações dos clientes.

Inovação: foco em soluções tecnológicas inovadoras, e diferenciação de produtos cerâmicos que acrescentam valor.

À Maneira portuguesa: uma empresa 100% pertencente a nacionais portugueses, num país com uma forte tradição e conhecimento em cerâmica (Revigrés, 2023).

4.3 Síntese

Neste capítulo, foi feita uma apresentação sucinta da Entidade Acolhedora deste Projeto. A Revigrés é uma empresa portuguesa, com mais de 40 anos, especializada na produção e comercialização de revestimentos e pavimentos cerâmicos. Sua missão é apoiar a criação de espaços inspiradores, e está alicerçada nos valores da inovação e criatividade. E este projeto, é o mais recente fruto de seu espírito inovador e ousado.

5 Enquadramento do Projeto Aplicado na Empresa

O presente capítulo, prende-se com a concretização dos objetivos do projeto, e resposta às questões de investigação. O mesmo, está organizado em seis subcapítulos, em conformidade com os objetivos, desdobrados nos estágios de investigação propostos pela metodologia ADR.

5.1 Análise dos Novos Produtos em Formato e Características

Formatos

A **Tabela 3**, ilustra os formatos integrantes da nova linha, sendo o *Light XL*, o principal e identificador da mesma, bem como aquele que se configura como o foco deste projeto, no que concerne aos requisitos logísticos de suporte à sua produção.

Tabela 3. Formatos da Nova Linha

| Formato | Tamanho (cm) | Espessura (cm) |
|--------------------------|--------------|----------------|
| Light XL (Large Format) | 120x278 | 0,60 |
| | 120x120 | 0,90 |
| Derivados de corte | 60x60 | 2,00 |
| | 60x120 | 2,00 |
| | 90x90 | 1,05 |
| Novas Texturas e Efeitos | 14x14 | 0,85 |
| | 7x29 | 0,85 |

Fonte: www.revigrés.pt

Características

As tabelas que se seguem, descrevem as características dos produtos da nova linha.

Tabela 4. Tipos de Produtos

| Tipos de Produtos |
|---|
| Revestimento de porcelanato de corpo inteiro – paredes e pisos. |
| Porcelanato Vidrado – paredes e pisos. |

Tabela 5. Acabamento da Superfície

| Acabamento da Superfície |
|---|
| <i>Matte</i> : superfície natural, sem brilho. |
| <i>Gloss</i> : superfície com brilho, com alto grau de reflexão da luz. |

Tabela 6. Uso

| Uso |
|--------------------------------------|
| Interior/Exterior |
| Residencial/Infraestruturas públicas |

5.2 Previsão de Vendas

5.2.1 Formulação do Problema

Atualmente a previsão de vendas, assenta no método qualitativo, nas técnicas de:

- Painel de consenso – julgamento subjetivo do pessoal da logística, baseado em encomendas recebidas dos clientes, quase que de hora em hora, através do departamento comercial, e no *stock* existente; e
- Analogia histórica – análise do histórico de vendas para o mesmo produto, para determinar a quantidade a ser produzida além da procura observada, para assegurar *stock* para períodos futuros.

5.2.2 Criação e Intervenção

Para construção da Previsão de Vendas, foi usado o método das séries temporais, por dois motivos: o primeiro é o facto de existirem dados históricos de vendas para estes novos formatos – uma sequência de observações (quantidade vendida em m²), registadas no tempo (diariamente); e o segundo, por se tratar de um método de implementação acessível, e um bom ponto de partida para realizar previsões, conforme se concluiu na RSL.

Assim, o estudo se desenvolveu em duas fases, que se diferenciam quanto às ferramentas utilizadas para implementar os métodos de previsão de séries temporais:

5.2.2.1 *Previsão em Power BI*

Inicialmente, as previsões foram construídas em *Power BI*, na sequência da identificação de um suplemento novo, criado especificamente para prever valores futuros com base em dados históricos, o *Forecast Using Multiple Models*, oferecido pela MAQ Software. O mesmo compreende os seguintes modelos de previsão: suavização exponencial, regressão linear, ARIMA, e redes neurais.

Os parâmetros de previsão deste suplemento incluem: a escolha do algoritmo de previsão, a visualização de intervalos de confiança, a decisão sobre o ponto de divisão do conjunto de dados, e o uso da transformação de dados.

Os dados apresentam uma distribuição em intervalos irregulares, e o suplemento requer dados igualmente espaçados no tempo. Por essa razão criou-se uma distribuição diária, à qual se aplicou uma translação (adição de dez unidades a todas as observações da série temporal), por forma a regularizar os intervalos da distribuição, de modo a garantir que o MAPE (*Mean Percentage Absolute Error*) se mantivesse finito.

Relativamente a parametrização do modelo, a divisão dos dados foi feita num rácio de 75:25, para os conjuntos de treino e teste, respetivamente, e a previsão foi construída para as dez observações futuras, com um intervalo de confiança de 95%. Os modelos usados foram o ARIMA e as redes neurais, uma vez que a suavização exponencial não era viável, em face da dimensão do conjunto de dados. A ilustra os resultados obtidos:

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

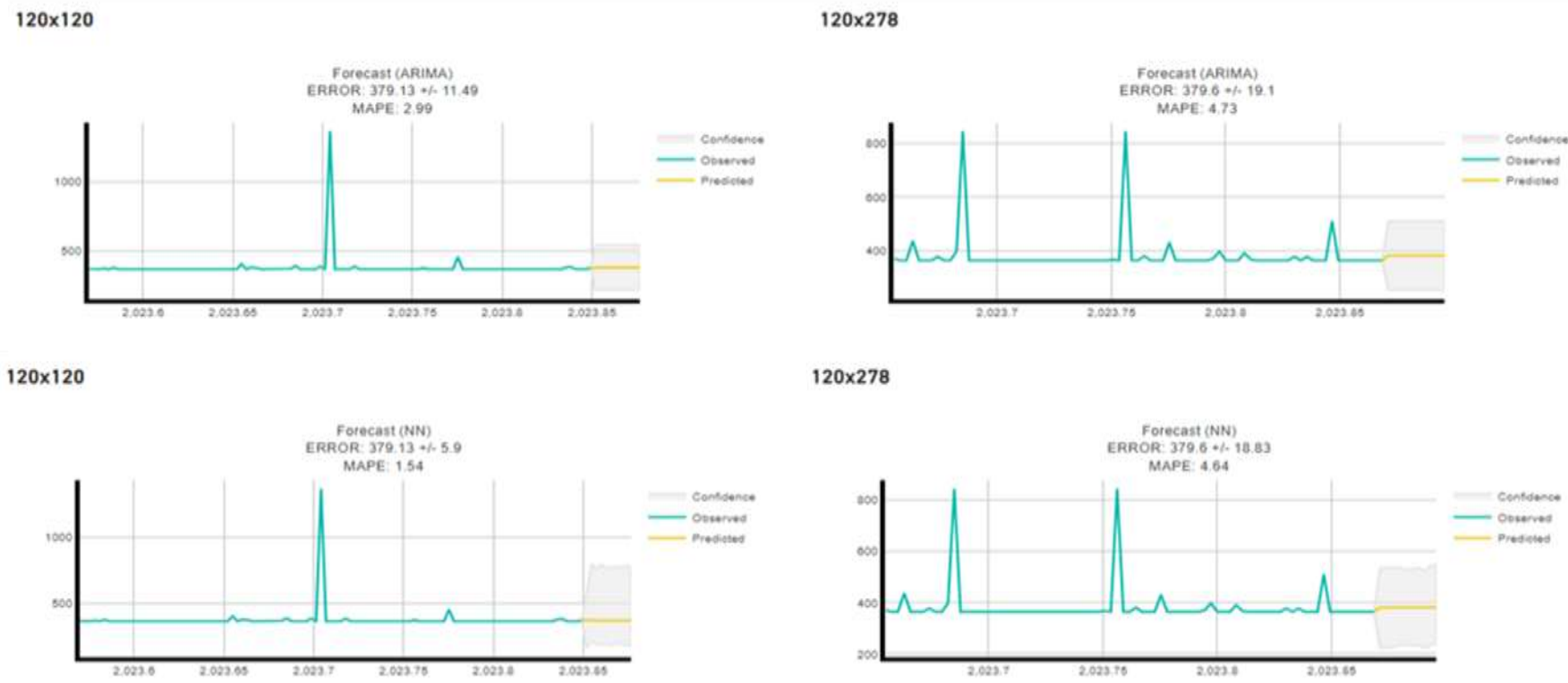


Figura 11. Previsão em Power BI para os novos formatos

Fonte: Elaboração própria

Constata-se, que ambos os formatos apresentam vendas bastante irregulares, isto é, vendas de quantidade variável e sem réplica regular (periodicidade). É, ainda, possível verificar que as previsões geradas, amortecem completamente a variabilidade registada no conjunto de teste, e tendem para valores aproximadamente constantes.

A grande limitação deste suplemento, aplicado a estes dados em concreto, reside na dificuldade de ler e interpretar a linha do tempo, ilustrada no eixo dos X – o suplemento extraí o ano das datas integrantes dos dados, e converte o mês em frações de ano -, bem como as previsões. Não obstante, este visual é novo, e existe muito pouca documentação acerca do mesmo, fato que determinou a busca de uma solução alternativa, que eliminasse as lacunas aqui identificadas, o que tem particular importância, na medida em que, a solução desenhada deverá, à posteriori, ser transferida para o contexto empresarial.

5.2.2.2 *Previsão com programação em Python*

A escolha da linguagem de programação *Python*, teve em consideração o facto de esta ser bastante utilizada e poderosa para fins de análise de dados, pela grande diversidade de bibliotecas que disponibiliza. Na sequência do estudo anterior, e no sentido de melhorar a implementação da previsão de séries temporais, foram empregues os seguintes modelos: *ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average)*, *LSTM-RNN (Long-Short Term Memory - Recurrent Neural Networks)*, e *Auto TS (Auto Time Series)*, numa base diária.

Os modelos **ARIMA** – aplicados por terem apresentado um bom desempenho na aplicação anterior, são um algoritmo de previsão, baseado na ideia de que a informação contida nos valores passados da série temporal, é *per si* suficiente para prever os valores futuros (Prabhakaran, 2021).

Por outro lado, **RNN** – são uma forma de redes neurais artificiais, e **LSTM**, por sua vez, é uma forma de RNN, uma das mais amplamente usadas para fins de previsão de séries temporais, por ter uma elevada performance quando a sequência dos dados é importante. A sua vantagem sobre os modelos ARIMA, é a capacidade de aprender e lidar com padrões complexos nos dados, não sendo, portanto, necessário transformar séries não estacionárias, em séries estacionárias, por exemplo (Hebbar, 2022).

Por último, o **Auto TS** – é uma nova proposta baseada numa biblioteca *Python*, que automatiza e acelera o processo de construção de previsões, ao analisar os dados, determinar e treinar o melhor modelo para os mesmos, e apresentar resultados das métricas de precisão para cada modelo (erros) (Hebbar, 2022)

Realizadas as previsões assentes nos três modelos acima mencionados, e com base na medida do erro de cada uma (**Tabela 7**), conclui-se que os modelos ARIMA e o LSTM - RNN, apresentam o melhor desempenho para previsão da nova linha - 120x120 e 120x278, respetivamente, comparativamente ao modelo Auto TS.

Tabela 7. Estudo Comparativo do Erro

| | ARIMA | | LSTM RNN | | Auto TS (ML) | |
|----------------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| | NF 120x120 | XXL 120x278 | NF 120x120 | XXL 120x278 | NF 120x120 | XXL 120x278 |
| Error Measure | Daily | Daily | Daily | Daily | Daily | Daily |
| RMSE | 191,63 | 50,87 | 190,9 | 52,76 | 155,43 | 42,27 |
| MAPE | 1,76 | 3,85 | 1,88 | 2,99 | 4,57 | 3,19 |

Fonte. Elaboração própria

5.2.3 Reflexão e Aprendizagem

O MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), apresenta valores muito altos, o que significa que as previsões não são boas, facto que pode estar associado à estrutura dos dados: primeiro, o número de dados é muito reduzido (78 e 69 observações, respetivamente), e em modelos de *machine learning* (ML), o volume de dados é crucial para treinar os modelos; segundo, as observações não estão registadas em um intervalo de tempo regular (existem até sete dias de separação entre duas observações consecutivas), o que impacta a qualidade do treino. O problema do intervalo de tempo irregular entre as observações, poderia ser corrigido ao preencher os dias em falta com zeros (0) ou com a mediana dos valores.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Na primeira hipótese, os valores de MAPE tornar-se-iam infinitos, e na segunda, apesar destes melhorarem ligeiramente, podemos ter um resultado enviesado relativamente ao contexto real das vendas. Assim, entendeu-se por bem manter os resultados reais.

No entanto, estas previsões são agregadas por formato (120x120cm e 120x278cm), os quais podem assumir duas formas de acabamento de superfície – natural e vidrada, e uma multiplicidade de efeitos estéticos. Isto é, o efetivo planeamento logístico para a nova linha requer uma previsão desagregada por produtos.

Para este fim, recomenda-se o estudo da possibilidade de adquirir um software de previsão, que permita a construção automática de previsões com maior granularidade, de forma rápida e acessível. Durante pesquisas, foi identificado o *Forecast Pro*.

(Business Forecast Systems, n.d.), o *Forecast Pro*, é um pacote de software de previsão, que se apresenta como uma solução “chave-na-mão”, e se destina a criação de previsões precisas baseadas em modelos estatísticos. O mesmo é propriedade da empresa *Business Forecast Systems, Inc*, sediada em Massachusetts nos EUA, e apresenta as seguintes potencialidades:

- Construir previsões para múltiplos itens, e por hierarquia de produtos;
- Trabalhar com previsões em diferentes unidades de medida simultaneamente;
- Integração com sistemas de planeamento – ERP, MRP e S&OP; e
- Prever a venda de produtos novos, com poucos dados históricos.

Tabela de preços

O produto oferece três edições, para atender à diferentes necessidades, e pode ser adquirido por meio de subscrições anuais, conforme a **Tabela 8**:

Tabela 8. Lista de Preços

| Edição | Pro TRAC | Pro Extended | Pro 100 |
|--------|-------------|--------------|-------------|
| Preço | \$ 7 500,00 | \$ 5 000,00 | \$ 1 495,00 |

Fonte: Elaboração própria

No que se refere à articulação entre a criação e intervenção, e a teoria, percebe-se uma estrita ligação, em três aspetos: o primeiro é o método de previsão usado (quantitativo), indicado pela RSL como o mais simples de implementar, e efetivamente o mais amplamente empregue na prática. O segundo, respeita à abordagem de previsão quantitativa, mais concretamente à suavização exponencial, também encontrada no software *Forecast Pro*. O terceiro, refere-se à conjugação de dois métodos para construção de previsões referenciada na RSL, que também se faz presente no *Forecast Pro*, na forma da possibilidade de adicionar uma componente de previsão subjetiva (qualitativa) através de “*Overrides*”, bem como incluir modelos que acomodam eventos casuais como promoções e greves.

5.2.4 Formalização da Aprendizagem

QI.1 Qual é a previsão de vendas para os novos formatos?

R: As previsões de vendas para os dados de teste dos últimos 12 (120x120) e 10 (120x278) dias, respetivamente, são as que se seguem, **Tabela 9**.

Tabela 9. Previsão de vendas

| 120x120 | | | 120x278 | | |
|------------|--------------------------|-----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|
| Data | Vendas (m ²) | Previsões (m ²) | Data | Vendas (m ²) | Previsões (m ²) |
| 01-03-2024 | 144.00 | 49.78 | 14-03-2024 | 23.31 | 39.03 |
| 04-03-2024 | 110.88 | 49.78 | 15-03-2024 | 133.20 | 39.03 |
| 12-03-2024 | 11.52 | 49.78 | 18-03-2024 | 43.29 | 39.28 |
| 13-03-2024 | 53.28 | 49.78 | 19-03-2024 | 36.63 | 39.41 |
| 15-03-2024 | 48.96 | 49.78 | 20-03-2024 | 6.66 | 39.65 |
| 18-03-2024 | 10.08 | 49.78 | 22-03-2024 | 39.96 | 39.87 |
| 19-03-2024 | 5.76 | 49.78 | 25-03-2024 | 3.33 | 40.02 |
| 25-03-2024 | 87.84 | 49.78 | 26-03-2024 | 126.54 | 40.13 |
| 26-03-2024 | 691.20 | 49.78 | 28-03-2024 | 3.33 | 40.26 |
| 27-03-2024 | 12.96 | 49.78 | 01-04-2024 | 126.54 | 40.29 |
| 28-03-2024 | 46.08 | 49.78 | | | |
| 01-04-2024 | 144.00 | 49.78 | | | |

A **Figura 12** e **Figura 13**, conferem uma compreensão visual do comportamento das previsões em relação as reais vendas para os dados de teste.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

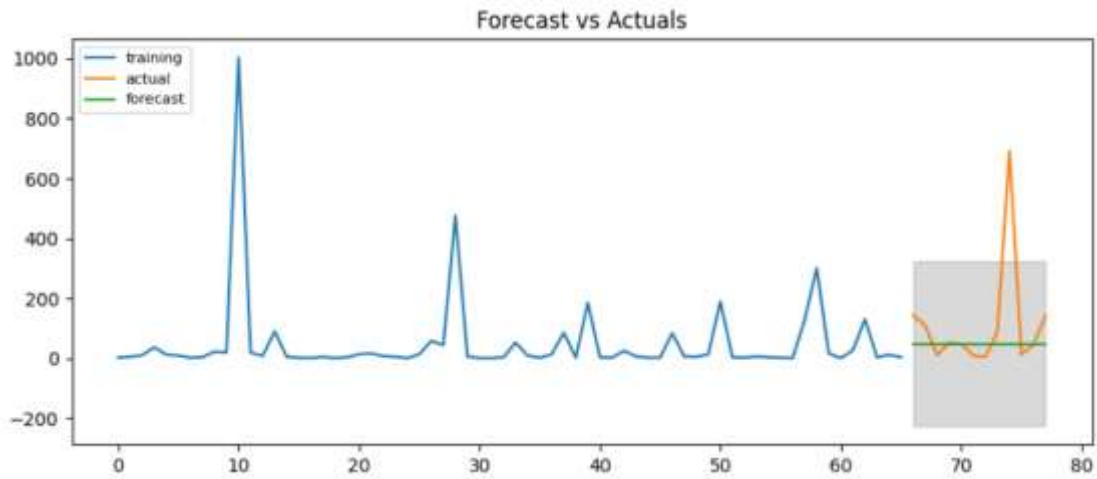


Figura 12. Previsão vs. Teste (ARIMA 120x120)

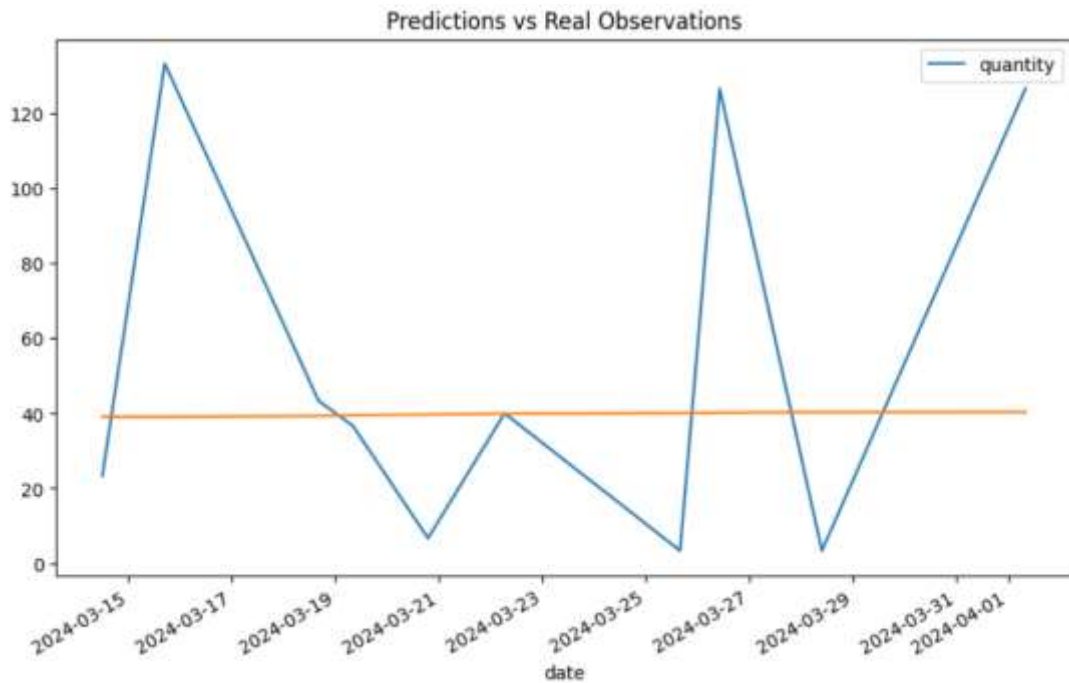


Figura 13. Previsão vs. Teste (LSTM 120x278)

5.3 Método de Produção (MTO vs. MTS)

5.3.1 Formulação do Problema

Ao dia de hoje, as peças dos novos formatos são compradas a fornecedores na forma de produto acabado, no seguimento do método MTS.

5.3.2 Criação e Intervenção

De acordo com Jacobs & Chase (2018a), o modelo híbrido de produção – em que um número X de peças standard é produzido e armazenado em estágio intermédio de produção, e finalizado à quando da colocação de uma encomenda por parte do cliente - é o ideal, pois permite conjugar as vantagens, e evitar as desvantagens de ambos os métodos. Entretanto, na nova linha, para os grandes formatos, não haverá um estágio intermédio de produção, ou seja, as peças sairão da linha como produto acabado, dado os elevados riscos associados ao seu manuseamento (i.e., fissuras, quebras, etc.) havendo que reduzir o número de manipulações e movimentações, a que as mesmas são sujeitas.

Em atenção e consideração a esta fato, o indicado é tirar partido de um bom modelo de previsão, que possa acompanhar de forma muito próxima a tendência das vendas, e com base nos resultados da mesma determinar que produtos e em que quantidade, serão produzidos para *stock* (MTS) e que produtos serão produzidos por encomenda (MTO).

5.3.3 Reflexão e Aprendizagem

De acordo com o ponto 4.3.2, seguirão o método MTS, os produtos para os quais se prevê uma elevada procura, e seguirão o método MTO, aqueles para os quais se prevê uma baixa procura. Relembra-se, em articulação com a teoria, que as previsões são sempre imprecisas, e que, portanto, atenção deve ser dada às margens de erro durante o planeamento da produção.

Este resultado, oferece um referencial factual e quantitativo para atender ao objetivo de determinação do método de produção para nova linha, intimamente ligado à previsão de vendas, que como foi mencionado orienta todo o planeamento logístico.

5.3.4 Formalização da Aprendizagem

QI.2 Que método de produção deve ser adotado para os novos formatos (MTO ou MTS)?

R: Ao considerar as previsões fornecidas pelo *Python*, e os valores reais observados – embora consideravelmente distantes -, pode se afirmar que o método de produção adequando para ambos os formatos é o MTO, dado que o volume de encomendas é

reduzido. Ainda assim, a consideração dos erros de previsão, bem como a conjugação da componente subjetiva – inteligência de mercado -, podem desempenhar um papel preponderante na elaboração do planeamento logístico.

5.4 Meios de Movimentação e Transporte Interno

5.4.1 Formulação do Problema

Atualmente, para o *Light XL 120x278cm* é usada uma ventosa manual (Figura 14), localizada na zona de expedição de cargas, para efetuar o *picking*, e são utilizados empilhadores elétricos para transportar os caixotes que contêm as placas cerâmicas, os quais também são empregues na movimentação do formato *120x120cm*, que é embalado em caixas de papelão, as quais são palatizadas.

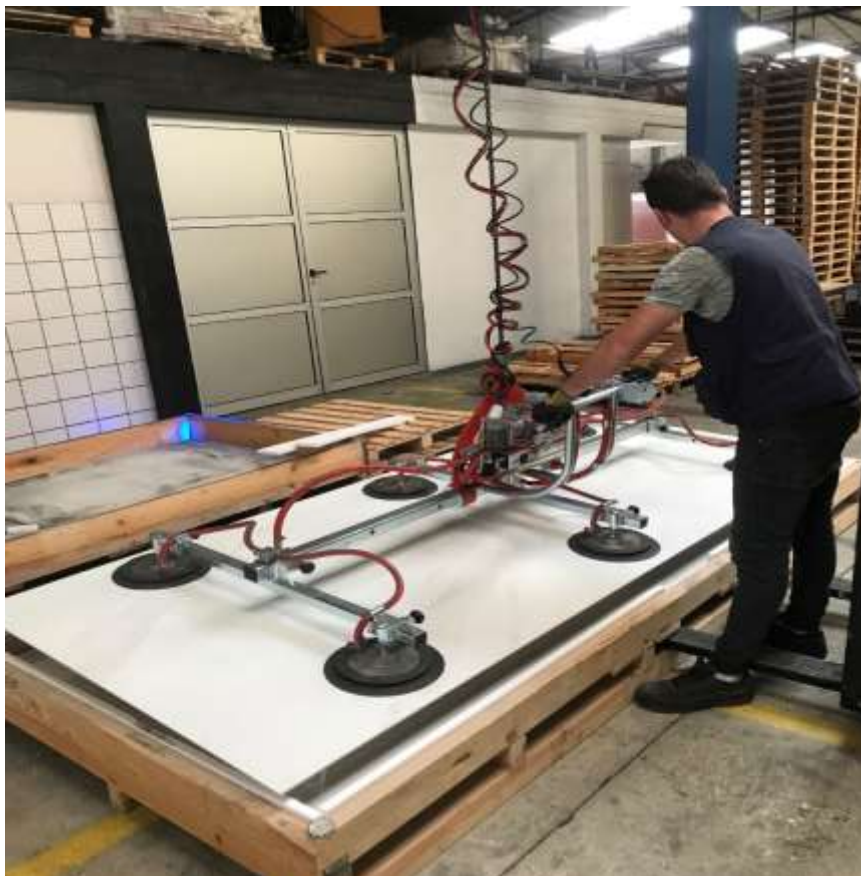


Figura 14. Ventosa usada no picking.

Fonte: a autora

5.4.2 Criação e Intervenção

5.4.2.1 Movimentação - Falcon Slab

O *Falcon Slab* (Figura 15), é um sistema automático compacto, para movimentação horizontal e vertical, segura e fluída de placas cerâmicas de grande dimensão. O equipamento possui um mecanismo de presas, que lhe permite manipular placas de até 1800x3600mm, e atua na palatização e despalatização (System Ceramics, n.d.)



Figura 15. Falcon Slab

Fonte: www.systemceramics.com

5.4.2.2 Transporte – Empilhadores Elétricos

Os atuais empilhadores elétricos podem ser mantidos, para o transporte dos caixotes e paletes, uma vez que os mesmos se adaptam às dimensões das unidades de carga dos novos formatos, e serão usados apenas para carga e descarga de camiões – internos (que transportam o produto da unidade de fabrico para o armazém), e externos (de expedição de carga).

5.4.3 Reflexão e Aprendizagem

As soluções desenhadas para este objetivo, se enquadram no panorama atual da indústria cerâmica. O *Falcon Slab* é um produto da System Ceramics, empresa italiana do Grupo

Coesia, que se dedica ao design e produção de sistemas de processo para indústria cerâmica mundialmente. System Ceramics alcançou e mantém uma posição de liderança no mercado, através de investimentos constantes em pesquisa e desenvolvimento, nos seus vários departamentos, que desenvolvem soluções tecnológicas inovadoras (*System Ceramics*, n.d.)

Os empilhadores elétricos, têm sido massivamente substituídos por *AGVs*, contudo eles ainda existem e continuarão a existir e coexistir com os sistemas automáticos, em unidades logísticas por muito tempo. Eles constituem o equipamento mais amplamente usado, para operações de transporte interno no mundo todo. Por este motivo, e por não julgar necessário o emprego de *AGVs* para o transporte (mais externo do que interno, uma vez que são sugeridas soluções *AS/RS* de cargas e unidades de carga, no subcapítulo seguinte), considera-se que os atuais equipamentos podem continuar a ser usados para essa finalidade, o que contribui para a redução de custos em aquisição de novos meios.

Ante o exposto, conclui-se que os resultados alcançados se alinham com o objetivo, e apresentam uma relação com a teoria, que postula a adoção de meios automáticos para movimentação de cargas em centros logísticos (com impacto na eficiência e segurança), sem se distanciarem da realidade e do contexto concreto do projeto.

5.4.4 Formalização da Aprendizagem

QI.3 Que meios de movimentação e transporte interno devem ser usados? Existe a necessidade de investimento?

R: Os meios de movimentação e transporte interno a serem usados são: o *Falcon Slab* e os empilhadores elétricos, respetivamente. Existe a necessidade de investimento naquele, que como referido é um produto da empresa System Ceramics. Todavia, não é possível indicar o valor do investimento, uma vez que essa informação só é disponibilizada por meio de contacto com a empresa.

5.5 Armazenamento de Espaço – Onde e Como?

5.5.1 Formulação do Problema

Atualmente, os produtos da nova linha são armazenados no exterior (à semelhança do que acontece na casa do fornecedor), nas paletes e caixotes nos quais são recebidos, e em blocos, conforme ilustra a **Figura 16**.



Figura 16. Armazenamento de produtos da nova linha

Fonte: www.revigrés.pt

5.5.2 Criação e Intervenção

5.5.2.1 Onde

O local selecionado, para o armazenamento de espaço para acomodar as peças da nova linha, foi o Armazém 1 (**Figura 17**) localizado em frente ao pátio onde os materiais se encontram armazenados atualmente, pelas seguintes razões:

- Eliminação da exposição dos produtos as intempéries (sol e chuva), que com o tempo desgastam as embalagens;
- É a área mais próxima a saída do túnel, a partir da Unidade 2 onde estará instalada a nova linha;
- Está ocupada com material obsoleto.
- É uma área de fácil acesso; e

- Está próxima da zona de expedição de cargas.



Figura 17. Monos em stock no armazém 1.

Fonte: www.revigrés.pt

Portanto, a solução proposta é o dimensionamento da área necessária para acomodar os produtos da nova linha, à luz do que já existe na casa (**Figura 16**), das previsões de venda, da política de gestão de *stocks*, do espaço necessário para acolher as estruturas de armazenamento (indicadas a seguir), e com base nesse estudo determinar o espaço a ser libertado do material obsoleto “monos” (**Figura 17**), para receber os produtos da nova linha.

5.5.2.2 Como

Para o formato *Light XL 120x278cm*, é indicado o *Slabstore* (**Figura 18**), também oferecido pela System Ceramics, um armazém automático para guarda de placas cerâmicas. Nascido das necessidades únicas de produtores de peças de grande dimensão, o equipamento facilita a seleção e o *picking* das placas, ajustados às especificações exatas do cliente.



Figura 18. Slabstore

Fonte: www.systemceramics.com

Slabstore (**Figura 19**) é capaz de movimentar cada placa com uma eficiência e precisão inteligentes sem paralelo. Adicionalmente, sua flexibilidade de configuração, permite que a estrutura seja instalada em função do *layout* da unidade logística, e expandida posteriormente se necessário (*System Ceramics*, n.d.)



Figura 19. Slabstore

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Para o armazenamento do Novo Formato 120x120cm, é indicado o *Pallet Shuttle* semi-automático (**Figura 8**) oferecido pela Mecalux – empresa portuguesa, e uma das companhias líder no mercado mundial de sistemas de armazenagem (Mecalux, n.d.). Segundo a Mecalux, o equipamento é composto por: estantes para paletes e carro elétrico, e apresenta as seguintes vantagens:

- Máxima economia de espaço em sistemas compactos (que reduzem o número de corredores de acesso e manobra), com canais de armazenagem de até 40 metros de profundidade e de altura;
- Rápido deslocamento do carro elétrico, que reduz o tempo de entrada e expedição de paletes;
- Maior produtividade nas operações de armazenagem e recuperação das paletes, conseguida através do significativo aumento no número de ciclos/hora em relação aos sistemas tradicionais de armazenagem (empilhadores elétricos);
- Sistema produto ao homem, que permite que a carga se desloque automaticamente para os postos de *picking*;
- Oferece maior segurança para os operadores, para a carga, e para a própria instalação;
- Está integrado ao Sistema de Gestão de Armazém *Easy WMS*, que apoia a gestão, organização, classificação e rastreabilidade da mercadoria;
- Realiza a gestão de *stocks* (o *Pallet Shuttle* efetua a contagem das paletes armazenadas); e
- É uma tecnologia madura, já implementada por grandes empresas como a Porcelanosa, a Luís Simões, a Finieco, e a Císter.

5.5.3 Reflexão e Aprendizagem

Os resultados alcançados possuem uma estrita articulação com a teoria e se inserem na *avant-garde* de armazenagem de cargas em centros logísticos, na medida em que se constituem de *AS/RS*, e atendem ao objetivo proposto.

5.5.4 Formalização da Aprendizagem

QI.4 Como alocar os recursos internos de espaço de armazenamento à Nova Linha?

R: Para resolver o problema de alocação de espaço de armazenamento para Nova Linha, é necessário efetuar um levantamento do material existente e a produzir, e definir os sistemas de armazenamento a serem implementados. Com base nesse estudo, e no espaço disponível para receber a Nova Linha, os respetivos fornecedores dos equipamentos de armazenamento poderão realizar sistemas a medida das necessidades do projeto.

5.6 Definição e Mapeamento dos Fluxos Internos

5.6.1 Formulação do Problema

Atualmente, os fluxos internos estão definidos, mas não mapeados. Assim, para formular o problema começamos por mapear os fluxos internos à que o material está sujeito, desde a receção da matéria-prima até a expedição do produto acabado. Para o efeito foi usado o VSM, proposto pela revisão de literatura.

5.6.1.1 Processo de Fabrico Revigrés – Representação VSM Atual

A **Figura 20**, é um mapa que descreve o atual fluxo interno de materiais. Tomamos para exemplo, o formato 60x60cm por ter a maior rotatividade, e consideramos uma procura de 6.231,86 m². Para assegurar *stock* de segurança, o controle de Produção emite uma Ordem de Fabrico (OF) de 8.000 m². A fábrica possui dois moinhos, seis linhas de prensa e esmaltação, dois fornos, três linhas de escolha e, três linhas de retificação. O mapa se encontra dividido em três partes:

Fluxo de informação, ilustrado na parte superior do mapa, procede da direita para esquerda – da procura do cliente ao fornecedor da matéria-prima -, isto porque sendo uma ferramenta *lean*, o VSM pressupõe um sistema de produção *pull*. O cliente coloca encomendas diárias, a produção envia previsões semanais e coloca encomendas diárias ao fornecedor;

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

Fluxo de materiais, visível na parte central do mapa, procede da esquerda para direita. O material é fornecido numa base diária, com um *lead time* de uma semana e depositado no inventário de matéria-prima indicado pelo triângulo vermelho. O nível médio desse inventário é de 150 toneladas de argilas, feltospatos e colinos. Esse material é transformado em linhas de produção que compreendem cinco processos: preparação da pasta, prensa e esmaltação, forno, escolha e controle de qualidade, e retificação. Abaixo de cada um desses processos está: o número de funcionários envolvidos no mesmo; o tempo de configuração (ST), o tempo de mudança (CO), e o tempo de ciclo (CT) das máquinas; o tamanho do lote (*Lot*); e o tempo disponível para o processamento do material propriamente dito (*Available Time*), deduzidos os tempos de paragem. Entre cada processo estão *buffers* de inventário, com o respetivo inventário médio;

A linha do tempo, situada na parte inferior do mapa, ilustra o tempo de ciclo (CT) para cada processo (em segundos), junto com o tempo médio de espera do inventário, em dias. O somatório desses tempos dá-nos uma estimativa do *lead time* (LT), também designado tempo do processamento (PT), ou ainda, tempo de valor acrescentado (VA), e do tempo de espera, considerado tempo sem valor acrescentado (NVA).

Por uma questão de uniformização (dado que muitos termos no mapa são ingleses), o mapa foi desenhado nesse idioma. Outra nota importante, é que o tamanho do lote e o CT, correspondem à cada ciclo individual multiplicado pelo número de máquinas. Enquanto, o inventário entre cada processo corresponde a capacidade de produção em relação à ordem de fabrico, considerando todo o tempo disponível para o efeito.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

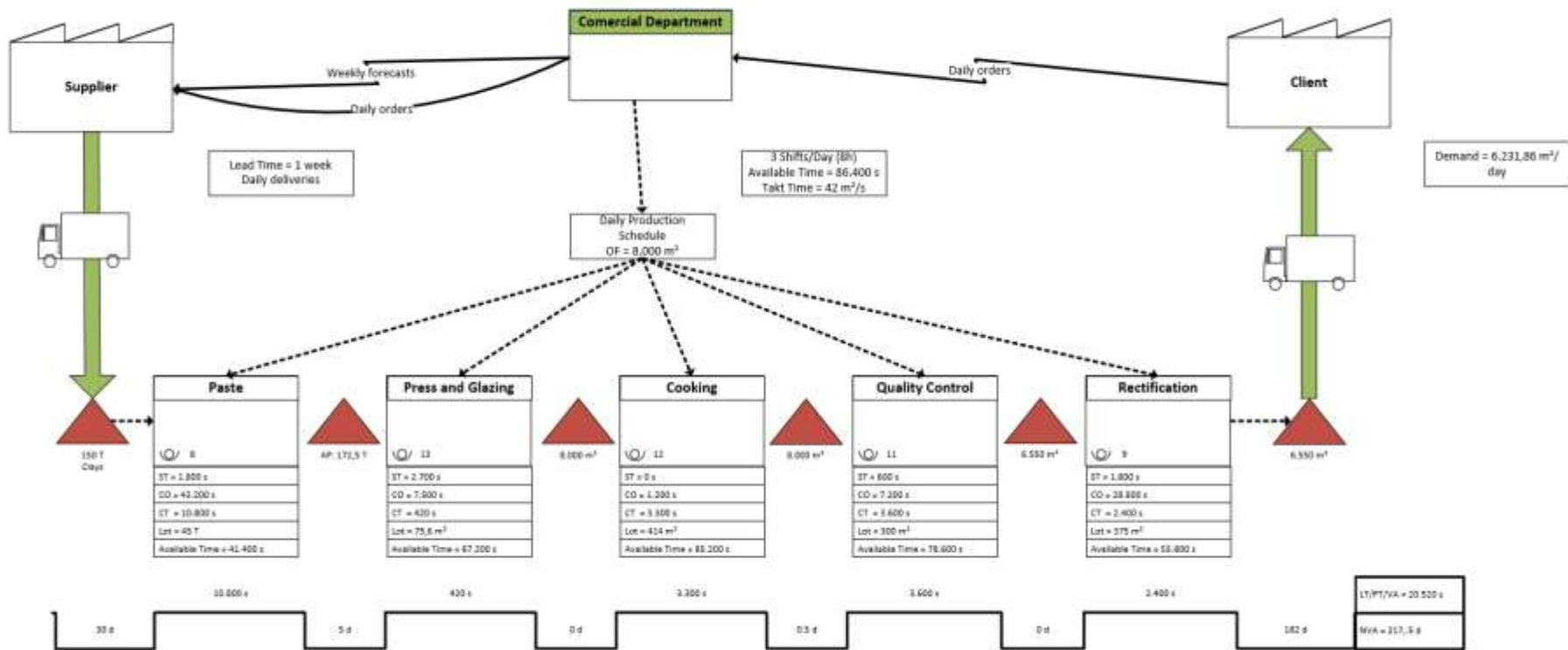


Figura 20. VSM do estado atual

Fonte. Elaboração própria

5.6.2 Criação e Intervenção

Após a formulação do problema, foi possível identificar a fonte de desperdício do sistema – a ineficácia do planeamento, que culmina com o excesso de *stock*. E, a melhoria do fluxo interno envolve as seguintes mudanças:

Fluxo de informação

- Trabalhar junto dos clientes no sentido de obter previsões da sua procura, numa base diária ou semanal, que podem ser conjugadas com as previsões feitas internamente pela empresa. As previsões e a colaboração melhoram o planeamento, tornam a CA mais responsiva, e reduzem custos associados à rutura ou excesso de *stock*; e
- Reduzir a margem de segurança colocada nas ordens de fabrico. Se considerarmos o exemplo do VSM atual, o *stock* de segurança corresponde a 22,2% em relação a procura observada (1.768,14 m²). Assim, se assumirmos que o cliente efetivamente compra toda a quantidade encomendada, e que o *stock* que se acumula durante meio ano é resultado da referida margem de segurança, talvez faça sentido reduzi-la para uma percentagem mais contida, por exemplo 10%.

Fluxo de materiais

- Reduzir o número de entregas do fornecedor. Vê-se no mapa que o fornecedor realiza entregas diárias, e que a matéria-prima chega a ficar armazenada durante 30 dias. Portanto, uma redução no número de entregas, para por exemplo, duas ao invés das atuais cinco por semana, poderia dar à produção tempo para absorver a matéria-prima, e reduzir o fluxo de transporte com impacto na sustentabilidade ambiental e económica.

Estas mudanças, ilustradas no VSM intermédio **Figura 21**, contribuem em última instância para reduzir os atuais níveis de *stock* (e os custos a ele associados), e tornar o fluxo interno de materiais mais fluído.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

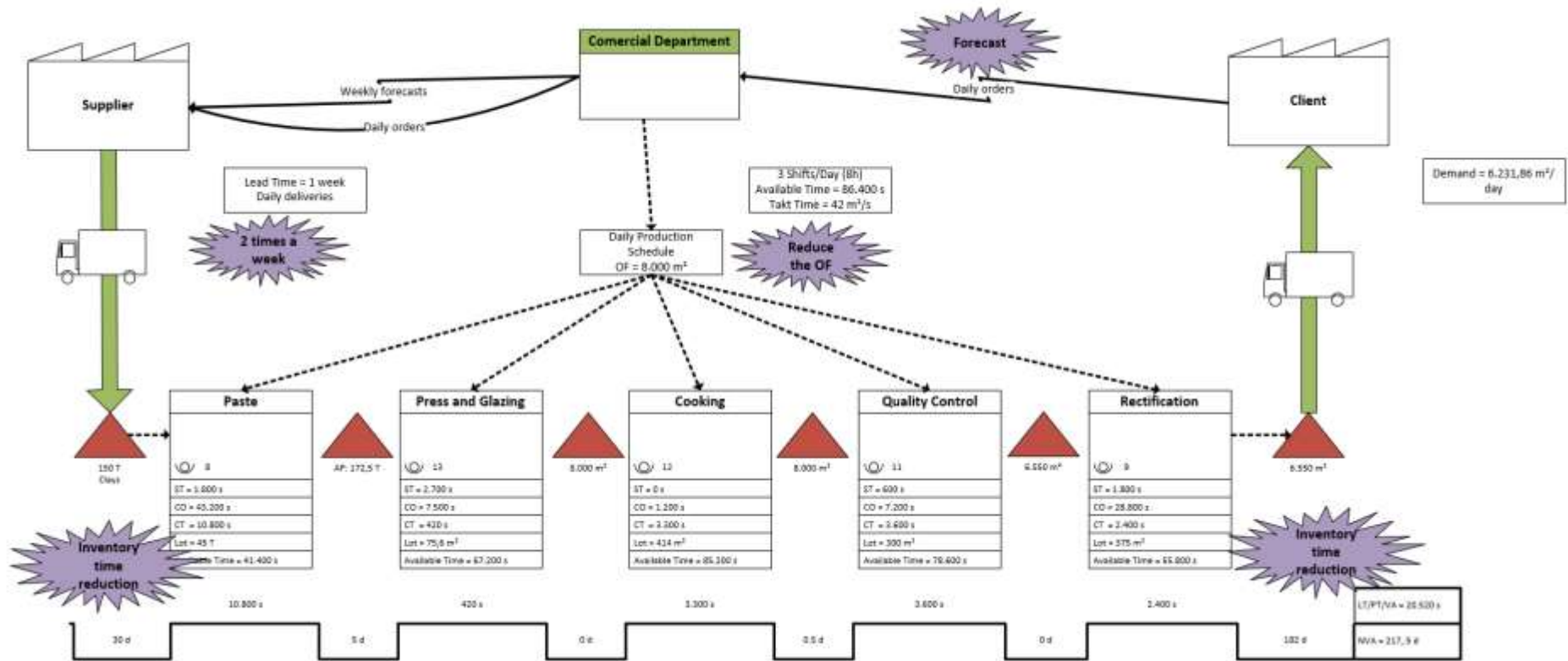


Figura 21. VSM do estado intermédio

Fonte. Elaboração própria

5.6.3 Reflexão e Aprendizagem

Os novos formatos irão seguir o mesmo fluxo interno dos formatos já em linha, pois não há razão para reinventar a roda. O mapeamento do mesmo permitiu, no entanto, identificar a fonte de desperdício e traçar um plano estratégico para eliminá-lo. O VSM se insere no corpo de conhecimento existente, sobre a reengenharia e melhoria contínua de processos, assentes na filosofia *lean* e no TPS (*Toyota Production System*), as regras de ouro no contexto industrial. Com isso, julga-se ter atendido ao objetivo do projeto.

5.6.4 Formalização da Aprendizagem

QI.5 Qual é o fluxo interno do processo de produção da nova linha?

R: O VSM do estado futuro (**Figura 22**), representa o fluxo interno de produção da nova linha, com uma drástica redução do desperdício – tempo de material parado.

Definição dos Requisitos Logísticos para Nova Linha de Produção da Revigrés

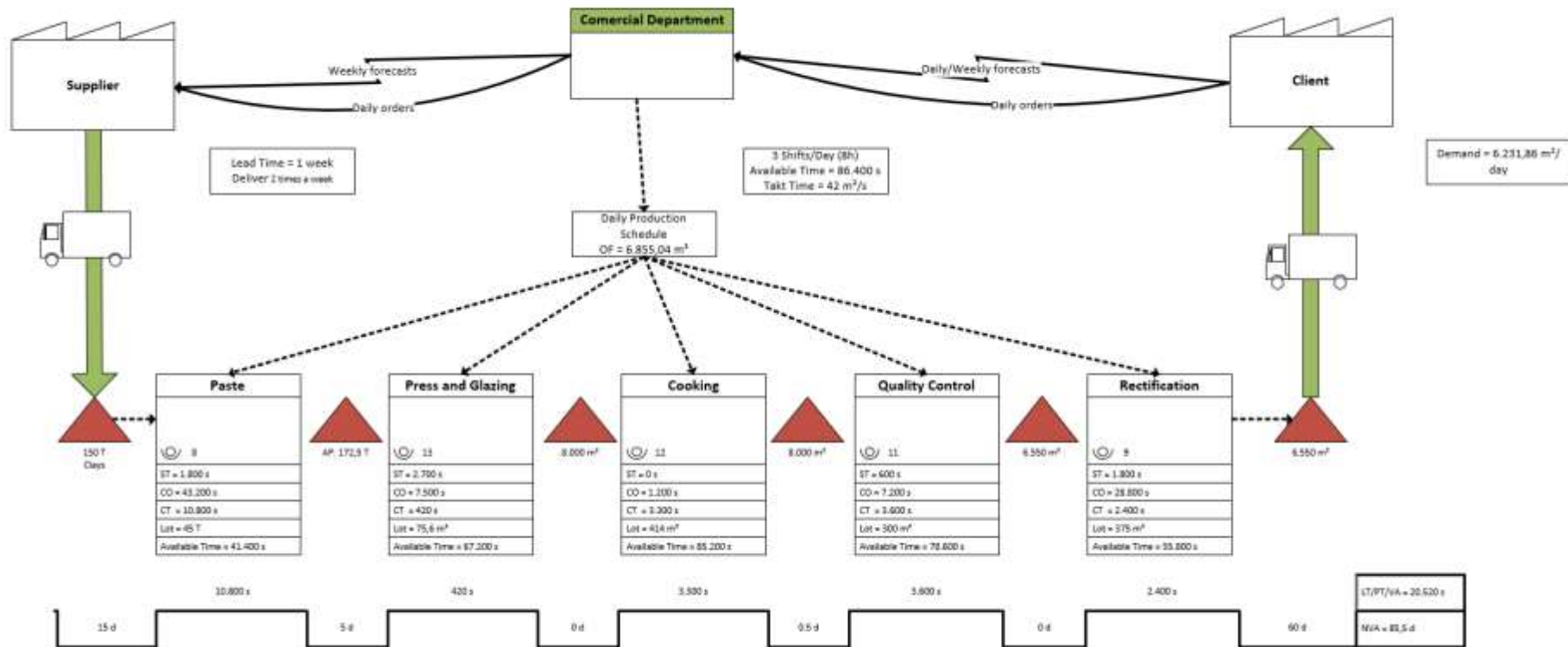


Figura 22. VSM do estado futuro

Fonte. Elaboração própria

5.7 Síntese

Este quarto e penúltimo capítulo do projeto, debruçou-se sobre a concretização dos objetivos propostos, e culminou com a resposta às questões de investigação formuladas com base nos mesmos. Começamos pela previsão de vendas realizada em *Python*, que nos ofereceu uma visão da habilidade desta linguagem de programação para o efeito (em linha com a disponibilidade e estrutura dos recursos – dados), porém para uma previsão por hierarquia de produto, é sugerido o emprego do *Forecast Pro*, a partir do qual será possível determinar que produtos produzir no seguimento de cada método – MTO e MTS. Os meios de movimentação e transporte interno (*Falcon Slab* e empilhadores elétricos), foram indicados com base na oferta do mercado, à luz das necessidades da empresa – propósito funcional. O armazenamento do espaço, foi proposto de acordo a disponibilidade de recursos (chão de armazém), estabelecimento de prioridades e critérios de acessibilidade, em moldes que visam proporcionar dinamismo e fluidez ao sistema (*Slabstore* e *Pallet Shuttle*). Por fim, o mapeamento dos fluxos internos, realizado em VSM permitiu identificar e melhorar o problema de planeamento de produção, o que resultou numa cadeia de abastecimento eficiente e altamente responsiva.

CONCLUSÃO

A Logística constitui, efetivamente, a espinha dorsal da cadeia de abastecimento, ao ser responsável por articular a procura do cliente aos seus processos produtivos, de modo a satisfazer a necessidade daquele, ao mesmo tempo em que reduz seus custos operacionais.

Para concretização dos objetivos propostos, foi levada a cabo uma exploração teórica sobre os mesmos, bem como de mercado (prática) para identificar e avaliar as soluções oferecidas para cada desafio, fruto da qual foi possível responder às questões de investigação formuladas.

O término deste projeto culmina com a apropriação de novos conhecimentos e valências para a autora, em áreas da logística não antes desbravadas, o que representa um *add valorem* e enriquecimento intelectual.

Espera-se, que as soluções aqui propostas encontrem significância e relevância prática para a Entidade Acolhedora deste Projeto, e que as mesmas possam, efetivamente, contribuir para materialização do mesmo. Espera-se ainda, que estudos futuros e a academia em geral, possam encontrar neste trabalho uma referência e uma base sólida para investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Business Forecast Systems, I. (n.d.). *Forecast Pro*. <https://www.forecastpro.com/>
- Chopra, S. (2019). Demand forecasting in a supply chain. In Pearson (Ed.), *Supply chain management : strategy, planning and operation* (7th ed, Global ed, pp. 186–203).
- de Carvalho, J. C. (2017a). Logística e gestão logística. In Sílabo (Ed.), *Logística e gestão da cadeia de abastecimento* (2ª ed, pp. 24–55).
- de Carvalho, J. C. (2017b). Previsão de vendas na gestão da cadeia de abastecimento. In Sílabo (Ed.), *Logística e gestão da cadeia de abastecimento* (2ª ed, p. 453).
- Domingues, J. C., Denardin, V. C., May, P. R., Barros Filho, J. R., & Dutra, A. R. D. A. (2019). Mapeamento e análise dos fluxos logísticos do processo de produção de produtos de higiene pessoal visando a melhoria contínua. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), 32785–32802. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-337>
- dos Santos, D. C. M. (2021). *Revigrés – Estudo de standards para a logística*. Coimbra Business School.
- Fan, H., Peng, W., Ma, M., & Yue, L. (2021). Storage space allocation and twin automated stacking cranes scheduling in automated container terminals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3127552>
- Fernandes, J., Baptista, A., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., & Pinto, G. F. L. (2019). Intralogistics and industry 4.0: Designing a novel shuttle with picking system. *Procedia Manufacturing*, 38, 1801–1832. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.078>
- Hebbar, N. (2022). *Auto Time Series Forecasting with Python*. ProjectPro. <https://www.youtube.com/watch?v=5N-0-QItwWE>
- Hornáková, N., Jurík, L., Hrablík Chovanová, H., Cagáňová, D., & Babčanová, D. (2021). AHP method application in selection of appropriate material handling equipment in selected industrial enterprise. *Wireless Networks*, 27(3), 1683–1691.

<https://doi.org/10.1007/s11276-019-02050-2>

- Hu, Y. M., Li, D. D., & Zhou, L. (2023). Design and simulation of a multi-specification and small flow flexible storage systems. *International Journal of Simulation Modelling*, 22(1), 157–167. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM22-1-CO4>
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2018). Forecasting. In McGraw-Hill (Ed.), *Operations and supply chain management* (15th ed., pp. 444–470).
- Jacobs, R. F., & Chase, R. B. (2018a). Manufacturing process. In McGraw-Hill (Ed.), *Operations and supply chain management* (15th ed., pp. 149–155).
- Jacobs, R. F., & Chase, R. B. (2018b). Process design and analysis. In McGraw-Hill (Ed.), *Operations and supply chain management* (15th ed., pp. 271–272).
- Kumar, S., Narkhede, B. E., & Jain, K. (2021). Revisiting the warehouse research through an evolutionary lens: a review from 1990 to 2019. In *International Journal of Production Research* (Vol. 59, Issue 11, pp. 3470–3492). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1867923>
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying value stream mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lengowski, E. C., Dallo, R., & Bonfatti Júnior, E. A. (2019). Mapeamento do processo produtivo e adequação às restrições de qualidade para indústria de painéis compensados: um estudo de caso. *Revista Internacional de Ciências*, 9(1), 72–91. <https://doi.org/10.12957/ric.2019.36755>
- McInerney, S. E., & Yadavalli, V. S. S. (2022). Increasing warehouse throughput through the development of a dynamic class-based storage assignment algorithm. *South African Journal of Industrial Engineering*, 33(2), 157–167. <https://doi.org/10.7166/33-2-2651>
- Mecalux. (n.d.). *Mecalux*. <https://www.mecalux.pt/>

- Prabhakaran, S. (2021). *ARIMA Model – Complete Guide to Time Series Forecasting in Python*. <https://www.machinelearningplus.com/time-series/arima-model-time-series-forecasting-python/#:~:text=Selva Prabhakaran>.
- Pyza, D., Jachimowski, R., Jacyna-Golda, I., & Lewczuk, K. (2017). Performance of equipment and means of internal transport and efficiency of implementation of warehouse processes. *Procedia Engineering*, 187, 706–711. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.443>
- Qi, M., Li, X., Yan, X., & Zhang, C. (2018). On the evaluation of AGVS-based warehouse operation performance. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 87, 379–394. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.07.015>
- Revigrés. (2023). *Revigrés - Inovação e Soluções em Revestimentos Cerâmicos*.
- Rhazzaf, M., & Masrour, T. (n.d.). *Smart autonomous vehicles in high dimensional warehouses using deep reinforcement learning approach*.
- Simic, V., Dabic-Miletic, S., Tirkolae, E. B., Stević, Ž., Ala, A., & Amirteimoori, A. (2023). Neutrosophic LOPCOW-ARAS model for prioritizing industry 4.0-based material handling technologies in smart and sustainable warehouse management systems. *Applied Soft Computing*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110400>
- System Ceramics*. (n.d.). <https://www.systemceramics.com/en/about-us>
- Thomas Publishing Company LLC. (2019, October 3). *Make to Order vs. Make to Stock: What's the Difference?*
- Tubis, A. A., & Rohman, J. (2023). Intelligent warehouse in industry 4.0—systematic literature review. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s23084105>
- Tufano, A., Accorsi, R., & Manzini, R. (2022). A machine learning approach for predictive warehouse design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(3–4), 2369–2392. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08035-w>
- Venable, J. R., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2017). Choosing a Design science

research methodology. *Proceedings of the 28th Australasian Conference on Information Systems, ACIS 2017*.

Yang, M. F., Shih, P. H., Pan, J. C. H., & Li, M. C. (2022). The optimal layout design for minimizing operating costs in a picker-to-part warehousing system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(7–8), 2523–2537. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08026-x>

Yetkin Ekren, B. (2017). Graph-based solution for performance evaluation of shuttle-based storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6516–6526. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1203076>

Zhang, Z. Y., Liang, Y., Hou, Y. P., & Wang, Q. (2021). Designing a warehouse internal layout using a parabolic aisles based method. *Advances in Production Engineering And Management*, 16(2), 223–239. <https://doi.org/10.14743/APEM2021.2.396>

Zhen, L., Wu, J., Li, H., Tan, Z., & Yuan, Y. (2023). Scheduling multiple types of equipment in an automated warehouse. *Annals of Operations Research*, 322(2), 1119–1141. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04935-6>