Do Tradicional à Logística 4.0 : Digitalização e Melhoria dos Processos Logísticos Internos numa Empresa de Comercialização de Equipamentos Industriais

Vitor José Andrade Contreras

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Jonas Lima

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2026-02-05

Resumo

Desde o início da era industrial, as empresas têm enfrentado transformações significativas nos seus modelos logísticos, impulsionadas pelo surgimento e integração de tecnologias emergentes. Atualmente, ferramentas como a inteligência artificial, a análise de dados em tempo real e a automação abrem novas perspetivas para o aumento da eficiência operacional e para o apoio aos processos de tomada de decisão.

A presente dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial foi desenvolvida na ISMA, empresa dedicada à comercialização e distribuição de componentes industriais, fornecendo soluções técnicas para a condução, controlo e gestão de fluidos, com suporte técnico e representação de marcas.

O projeto surgiu da necessidade de corrigir falhas identificadas na cadeia de abastecimento, principalmente relacionadas com a desatualização do catálogo de produtos, falhas recorrentes nas operações de *picking* e inconsistências entre o *stock* físico e o registado no sistema, que frequentemente resultam em anulações de faturas e atrasos no processo de expedição. Estas discrepâncias entre o sistema e a realidade física, afetam todos os departamentos, comprometendo o planeamento e a gestão do armazém, tornando evidente a necessidade de implementar melhorias.

A estrutura do projeto assentou em três eixos complementares, orientados para a melhoria dos processos logísticos internos da ISMA. O primeiro eixo incidiu sobre a melhoria do processo de separação de pedidos (*picking*). O segundo centrou-se na melhoria dos processos de embalamento e expedição. Por fim, o terceiro eixo correspondeu à reestruturação e normalização do catálogo de produtos, com o objetivo de otimizar a pesquisa de artigos.

Para esse efeito, foram desenvolvidas as interfaces necessárias à leitura por código de barras e realizada a reengenharia dos processos logísticos associados, criando as bases técnicas para a futura implementação desta tecnologia. Em paralelo, foi desenvolvido um simulador de rotas de *picking*, que permitiu uma redução de cerca de 30% no tempo médio de *picking*. Adicionalmente, foi realizada uma Análise ABC para avaliar o *layout* do armazém, sustentando propostas de reorganização do mesmo. Por fim, procedeu-se à reestruturação e normalização do catálogo de produtos, tendo sido possível classificar cerca de 42% das referências existentes, melhorando a hierarquia de famílias e subfamílias, a pesquisa de artigos e a qualidade da informação disponível.

De forma global, o projeto evidenciou a importância de inovar e repensar nos processos existentes, demonstrando que a digitalização e inovação são determinantes para reforçar a eficiência, a produtividade e a qualidade no setor industrial. Além disso, permitiu a criação de bases para uma futura análise de dados mais rigorosa e detalhada, permitindo identificar os artigos com maior volume de vendas, melhorar as previsões de compras e receitas e apoiar uma tomada de decisão mais estratégica e informada.

Abstract

From Traditional Logistics to Logistics 4.0: Digitalization and Improvement of Internal Logistics Processes in an Industrial Equipment Trading Company

Since the beginning of the industrial era, companies have undergone significant transformations in their logistics models, shaped by the rise and convergence of emerging technologies. Currently, tools such as artificial intelligence, real-time data analysis and automation open new perspectives for increasing operational efficiency and supporting decision-making processes.

This Integrated Master's dissertation in Industrial Engineering and Management was developed at ISMA, a company dedicated to the commercialization and distribution of industrial components, providing technical solutions for the conduction, control and management of fluids, with technical support and brand representation.

The project arose from the need to address several shortcomings identified in the supply chain, mainly related to the update of the product catalog, recurring failures in picking operations and inconsistencies between the physical stock and the quantities recorded in the system, which frequently resulted in invoice cancellations and delays in the shipping process. These discrepancies between system data and physical reality affected all departments, compromising planning, warehouse management and distribution efficiency, highlighting the need for improvement.

The project was structured around three complementary axes, aimed at improving ISMA's internal logistics processes. The first axis focused on enhancing the order picking process. The second centered on the reengineering of packaging and dispatch processes. Finally, the third axis addressed the restructuring and standardization of the product catalog, with the objective of improving product search. To this end, the interfaces required for barcode scanning were developed, along with the reengineering of the associated logistics processes, thereby establishing the technical foundations for the future implementation of this technology. In parallel, a picking route simulator was developed, which enabled an estimated reduction of approximately 30% in average picking time. Additionally, an ABC analysis was conducted to assess the alignment between product classification and the warehouse layout, supporting proposals for its reorganization. Lastly, the product catalog was restructured and standardized, allowing the classification of approximately 42% of the company's existing references, improving the hierarchy of product families and subfamilies, product search, and overall data quality.

Overall, the project demonstrated the importance of innovating and rethinking existing processes, showing that digitalization and innovation are key to strengthening efficiency, productivity and service quality in the industrial sector. Furthermore, it lays the groundwork for a more rigorous and detailed data analysis, enabling the identification of top-selling products, improving sales and purchase forecasting, supporting more strategic and informed decision-making.

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas, quer da empresa, da faculdade, amigos e família. Assim, este momento serve para demonstrar a minha gratidão a todos os que contribuíram para a concretização desta etapa final do meu percurso académico, mas também ao longo destes seis anos, nos quais tanto aprendi e evoluí, não só a nível profissional, mas como pessoa.

Começo por agradecer à Doutora Ana Sousa, orientadora da dissertação na empresa, pelo acompanhamento constante, pela partilha de conhecimento e pelas várias discussões de ideias ao longo do projeto, sendo uma pessoa pela qual tenho muita admiração enquanto doutorada e sócia da empresa onde o projeto foi inserido. Um obrigado também ao Paulo Martins, ao Engenheiro João Filipe e a todas as pessoas envolvidas em cada departamento da Isma que tão bem me acolheram e disponibilizaram sempre a sua ajuda e com a qual passei também bons momentos, tornando esta experiência mais enrriquecedora.

Agradeço também ao Professor Jonas Lima, orientador da faculdade, pela disponibilidade e orientação, as quais permitiram acompanhar e melhorar o meu trabalho, mas também pela motivação nos momentos mais cruciais deste projeto.

Não podia deixar de agradecer aos meus amigos tanto da faculdade como da residência estudantil pela entreajuda, incentivo mútuo e conquistas que partilhamos, algo que teve muito valor para mim. Também à Tuna de Engenharia da Universidade do Porto, uma associação que me acolheu de braços abertos e que me acompanhou desde sempre, vendo e contribuindo na minha evolução ao longo destes anos, estando ao meu lado nos bons e maus momentos e onde vivi experiências inesquecíveis.

Por fim, mas não menos importante, queria deixar uma mensagem para a minha família, pois sem o seu apoio não seria a pessoa que sou hoje. Mostraram-me que o caminho para o sucesso se constrói com resiliência, que o mais importante é dar sempre o nosso melhor e que cada desafio traz consigo uma lição, sendo sempre mais um passo para construir o meu futuro.

Assim, deixo aqui a minha marca nesta faculdade e encerro um ciclo de seis anos, marcado por esforço, crescimento e aprendizagens valiosas, mas também por amizades incríveis que levarei comigo para a vida.

"É preciso sair da ilha para ver a ilha. Não nos vemos se não saímos de nós."

José Saramago

Conteúdo

1 Introdução **1**
- 1.1 Enquadramento do projeto e motivação . . . 1
- 1.2 Contexto Organizacional do Projeto . . . 1
- 1.3 Objetivos do projeto . . . 2
- 1.4 Método seguido no projeto . . . 3
- 1.5 Estrutura da dissertação . . . 4

2 Revisão de literatura **6**
- 2.1 Fundamentos da Logística e Gestão de Cadeias de Abastecimento . . . 6
  - 2.1.1 Conceitos sobre Logística . . . 6
  - 2.1.2 Cadeia de Abastecimento (*Supply Chain Management*) . . . 7
- 2.2 Gestão de Armazém . . . 8
  - 2.2.1 Organização Física (*layout* e fluxos) de um Armazém . . . 8
  - 2.2.2 Operações Basicas de um Armazém . . . 9
  - 2.2.3 Métodos de *Picking* e Estratégias de Separação . . . 10
  - 2.2.4 Tecnologias de Suporte . . . 12
- 2.3 Controlo do Inventário . . . 13
  - 2.3.1 Técnicas de Controlo Seletivo . . . 13
  - 2.3.2 Análise ABC . . . 14
  - 2.3.3 Análise de Dados no Controlo de Inventário . . . 15
- 2.4 Indicadores de Desempenho e Avaliação de Resultados . . . 16
  - 2.4.1 Critérios de Definição de Indicadores de Desempenho . . . 17
  - 2.4.2 Indicadores Estratégicos . . . 17
  - 2.4.3 Indicadores Táticos . . . 18
  - 2.4.4 Indicadores Operacionais . . . 18
  - 2.4.5 Avaliação de Resultados e Melhoria Contínua . . . 19

3 Descrição do Problema **20**
- 3.1 Contextualização Operacional da ISMA . . . 20
  - 3.1.1 Principais Atividades do Armazém . . . 20
  - 3.1.2 Principais Atividades do Departamento Comercial . . . 24
- 3.2 Identificação dos Problemas . . . 25
  - 3.2.1 Problemas nas Operações de *Picking* e Controlo de *Stock* . . . 25
  - 3.2.2 Problemas no Embalamento e Expedição . . . 26
  - 3.2.3 Problemas no Catálogo de Produtos e Sistemas de Informação . . . 26
- 3.3 Evidências Quantitativas dos Problemas . . . 27
  - 3.3.1 Evidências Quantitativas do Processo de *Picking* . . . 27
  - 3.3.2 Evidências Quantitativas do Controlo de *Stock* . . . 29
  - 3.3.3 Evidências Quantitativas do Embalamento e Expedição . . . 29

3.3.4 Evidências Quantitativas Relativas ao Catálogo de Produtos 30
3.3.5 Síntese das Evidências Quantitativas 31

4 Metodologia **32**
4.1 Desenvolvimento do Simulador de Rotas de *Picking* 32
4.1.1 Estrutura do Modelo 32
4.1.2 Levantamento e Tratamento de Dados 34
4.1.3 Cálculo das Distâncias, Sequenciação e Restrições Operacionais 34
4.1.4 Testes e Validação do Simulador 35
4.1.5 Análise de Soluções Comerciais Existentes e Justificação do Desenvolvimento do Simulador 36
4.2 Reengenharia dos Processos Logísticos e Leitura por Código de Barras 37
4.2.1 Justificação da Tecnologia de Identificação Utilizada 37
4.2.2 Visão Geral das Alterações Introduzidas 37
4.2.3 Suporte Tecnológico: Terminal Portátil de Dados (PDT) e Leitura por Código de Barras 44
4.3 Estruturação de Famílias de Produtos 44
4.3.1 Identificação das Famílias Existentes e Principais Problemas 44
4.3.2 Definição das Novas Famílias e Subfamílias 45
4.3.3 Alocação dos Artigos às Famílias e Subfamílias 46
4.3.4 Integração da Nova Estrutura no PHC 47
4.4 Analise ABC e Reorganização do Armazém 47
4.4.1 Fontes de Dados e Preparação da Informação 47
4.4.2 Metodologia da Análise ABC 47
4.4.3 Definição de Zonas ABC no *Layout* do Armazém 48
4.4.4 Avaliação do Alinhamento entre a Classificação ABC e o *Layout* 48

5 Resultados **49**
5.1 Impacto Quantitativo das Soluções no Tempo de *Picking* 49
5.2 Resultados da Reengenharia dos Processos Logísticos e da Leitura por Código de Barras 50
5.3 Impacto da Normalização do Catálogo e Estruturação de Famílias 51
5.4 Resultados da Análise ABC 53

6 Conclusão **55**

Referências **57**

A Guia de Transporte **60**

B *Packing List* **62**

C *Registo de Recepção de Materiais* **63**

D Famílias e Subfamilias **64**

Acronyms and Symbols

AR	*Augmented Reality*
CPS	Sistemas Ciber-Físicos (*Cyber-Physical Systems*)
DSS	Sistemas de Apoio à Decisão (*Decision Support Systems*)
ERP	*Enterprise Resource Planning*
FIFO	*First In, First Out*
FTE	*Full-Time Equivalent*
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas (*Internet of Things*)
IPS	*Indoor Positioning Systems*
JIT	*Just in Time*
KPI	*Key Performance Indicator*
PDCA	*Plan–Do–Check–Act*
PDT	Terminal Portátil de Dados
RFID	*Radio Frequency Identification*
SCM	*Supply Chain Management*
SKU	Identificador único de cada produto no sistema
VBA	*Visual Basic for Applications*
WIP	*Work in Process*
WMS	Sistema de Gestão de Armazém (*Warehouse Management System*)

Lista de Figuras

1.1 Cronograma. 4

2.1 *Trade-offs* da Logistica 7
2.2 Efeito *Bullwhip* 8
2.3 Fluxo Quebrado. 9
2.4 Operações básicas de armazém. 10
2.5 Comparação de diferentes heurísticas de roteamento. 11
2.6 Classificação ABC de produtos por vendas. 14
2.7 Modelo conceptual das principais abordagens de Ciência de Dados e Analítica de *Big Data* 15
2.8 Pirâmide de KPIs (estratégico–tático–operacional) (SimpleKPI, 2025). 16

3.1 Atividades principais no armazém. 21
3.2 Etapas da Receção. 21
3.3 Planta do Armazém. 22
3.4 Fluxograma do processo logístico do Armazém da ISMA. 24
3.5 Fluxograma do processo logístico do Departamento Comercial da ISMA. 25
3.6 Histograma dos tempos de *picking*. 27
3.7 Nº de referências por fatura/encomenda. 28
3.8 *Scatter Plot* do nº de referências e o tempo de *picking*. 29
3.9 Relação entre o tempo de embalamento e o tempo de expedição. 30

4.1 Estrutura da folha Excel utilizada na simulação. 33
4.2 Interface do simulador. 33
4.3 Novo fluxograma dos processos do armazém. 38
4.4 Interfaces desenvolvidas para o processo de Receção. 39
4.5 Registo de Receção de Materiais. 39
4.6 Interface desenvolvida para o processo de Reposição. 40
4.7 Interface desenvolvida para o processo de Separação de Pedidos. 41
4.8 Incongruências na Separação. 42
4.9 Interface desenvolvida para o processo de Embalamento e Expedição. 42
4.10 Interface desenvolvida para o processo de Inventário. 43
4.11 Verificação de Inventário. 43
4.12 20 famílias de produtos. 46

A.1 Exemplo de uma Guia de Transporte. 61

B.1 Exemplo de uma *Packing List*. 62

C.1 Documento de controlo de qualidade da ISMA. 63

D.1 Excel com as Familias e Subfamílias. 64
D.2 Excel com as Familias e Subfamílias. 65
D.3 Excel com as Familias e Subfamílias. 65
D.4 Excel com as Familias e Subfamílias. 66

Lista de Tabelas

2.1 Técnicas e ferramentas de controlo de inventário (Pandya and Desai, 2019) . . . 13

4.1 Matriz de decisão para a escolha da solução de otimização do *picking* 36

5.1 Estatísticas descritivas dos tempos de *picking* 49
5.2 Comparação global entre o estado atual (*AS-IS*) e o estado proposto (*TO-BE*) . . 51
5.3 Estrutura das famílias e subfamílias definidas no âmbito da normalização do catálogo 52
5.4 Número de referências categorizadas com os três níveis completos e integradas no PHC 52
5.5 Peso das famílias Válvulas e Acessórios na faturação (2023–2024) 52
5.6 Distribuição dos artigos por classes ABC 53
5.7 Distribuição das localizações por zona do *layout* 53
5.8 Matriz de alinhamento entre a classe ABC dos artigos e a zona do *layout* 54

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo introduz o projeto desenvolvido na ISMA, apresentando o seu enquadramento e motivação, a caracterização da organização, os objetivos gerais e específicos, bem como o método adotado ao longo do trabalho. Adicionalmente, descreve-se a estrutura da dissertação, proporcionando uma visão global dos conteúdos explorados nos capítulos seguintes.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Nos últimos anos, a ISMA tem enfrentado uma pressão crescente para modernizar os seus processos logísticos, motivada pela comparação com organizações do mesmo setor e pela necessidade interna de desenvolver operações mais eficientes, flexíveis e sustentadas por análise de dados.

A elevada diversidade do seu portefólio de produtos acentua esta necessidade, tornando essencial a digitalização de atividades como *picking*, controlo de inventário, embalamento, expedição e gestão do catálogo, com impacto direto na melhoria do nível de serviço, na redução de custos e no reforço da sua posição competitiva.

Neste contexto, o projeto visa alinhar os processos logísticos da ISMA com os princípios da Logística 4.0, promovendo a integração entre departamentos, a automação de tarefas manuais e a melhoria da qualidade da informação, criando bases para operações mais digitais, eficientes e orientadas à tomada de decisão.

1.2 Contexto Organizacional do Projeto

A ISMA, sediada na Maia, é uma empresa portuguesa do setor industrial que atua desde 1982 na comercialização e distribuição de equipamentos industriais destinados à condução, controlo e gestão de fluidos. Trata-se de uma empresa de cariz familiar, que consolidou a sua presença sobretudo na região Norte de Portugal, destacando-se nos setores têxtil, alimentar, madeiras e metalomecânico. Com um capital social de 250.000 €, cerca de 20 colaboradores e uma área total de 5.550 m², a ISMA caracteriza-se por ser uma empresa dinâmica e orientada para a inovação, apostando fortemente na formação técnica contínua dos seus colaboradores.

As instalações da ISMA integram os departamentos de Compras, Faturação, Contabilidade, Área Comercial e Armazém/Logística, garantindo uma gestão eficiente da cadeia de abastecimento. A empresa colabora com fornecedores internacionais de referência — como Italvalvole, Tosaca, Prisma, Haitima, Conflow, Mival, Belgicast, Omal, Inox Laghi e Macoga — que asseguram a qualidade dos componentes industriais para condução, controlo e gestão de fluidos, permitindo à ISMA oferecer soluções integradas e fiáveis aos seus clientes.

A ISMA implementou o seu Sistema de Gestão da Qualidade em conformidade com a norma ISO 9001, obtendo certificação em 2004 e posteriormente atualizando para a versão 2015, atualmente em vigor. Esta certificação comprova o cumprimento dos requisitos internacionais de gestão da qualidade, garantindo processos documentados e controlados, como responsabilidades bem definidas.

Com vista à modernização dos processos, foi proposta a integração de tecnologias alinhadas com os princípios da Logística 4.0, representando um passo estratégico no processo de transformação digital da ISMA, com impacto na eficiência operacional, na inovação organizacional e na competitividade da empresa.

1.3 Objetivos do projeto

Com vista à melhoria da cadeia de abastecimento da ISMA através da integração de tecnologias emergentes, um dos principais objetivos deste projeto consistiu no apoio à implementação da leitura por código de barras, uma necessidade identificada pela empresa há vários anos. O estágio centrou-se na reengenharia dos processos de *picking* e na avaliação da viabilidade técnica e operacional desta tecnologia, visando reduzir o tempo de separação de encomendas, melhorar o controlo de *stock* e diminuir erros de localização, faturação e expedição, com o objetivo de alcançar uma redução de cerca de 30% no tempo médio de *picking*.

Paralelamente, o projeto visou analisar e reorganizar os processos de embalamento e expedição, tornando-os mais rápidos e intuitivos, com vista à eliminação de erros, à simplificação de tarefas e à redução de custos, procurando alcançar uma diminuição de cerca de 15% no tempo de preparação das encomendas.

Por fim, o projeto incluiu a reestruturação do catálogo de produtos, através da criação de uma hierarquia em três níveis aplicada às cerca de 44 446 referências existentes no sistema, permitindo uniformizar designações, melhorar a pesquisa de artigos e simplificar a gestão de *stocks* e os processos comerciais.

De forma sistematizada, os principais objetivos do projeto foram:

- Reduzir em aproximadamente 30% o tempo médio de *picking*;
- Diminuir em cerca de 15% o tempo de embalamento e expedição;
- Normalizar o catálogo de produtos através da definição de uma hierarquia organizada em três níveis (Família, Subfamília 1 e Subfamília 2)

Em síntese, o projeto orientou-se para a melhoria dos processos logísticos da ISMA, com foco na redução dos tempos operacionais, na diminuição de erros e na digitalização das operações, promovendo uma transição para um modelo mais ágil, orientado por dados e alinhado com os princípios da Indústria 4.0, com impacto no nível de serviço ao cliente e no posicionamento estratégico da empresa.

1.4 Método seguido no projeto

O projeto, desenvolvido ao longo de quatro meses, seguiu uma abordagem de investigação-ação, orientada para a resolução de problemas reais e adequada ao contexto da ISMA. A Figura 1.1 apresenta o cronograma do projeto, a partir do qual se estruturaram as seguintes fases principais:

1. **Diagnóstico Inicial e Identificação de Problemas**
   Nas primeiras semanas, observaram-se as operações nos departamentos de Armazém/Logística e Comercial, procedeu-se à sua análise e caracterização por meio de fluxogramas, permitindo identificar as principais ineficiências e constrangimentos operacionais.

2. **Pesquisa Documental**
   Realizou-se um estudo bibliográfico aprofundado sobre os conceitos de Gestão da Cadeia de Abastecimento e Logística 4.0, com o objetivo de compreender as práticas e tecnologias atualmente utilizadas e identificar aquelas que poderiam ser aplicadas à melhoria da cadeia de abastecimento da empresa, considerando os processos já existentes.

3. **Fase de Recolha e Tratamento de Dados**
   Nesta fase, procedeu-se à recolha dos dados necessários para suportar a análise e a definição das soluções, nomeadamente informações sobre níveis e movimentações de *stock* e tempos de execução de tarefas (*picking*, embalamento e expedição). Esta recolha foi fundamental para criar uma base de dados fiável que sustentasse as etapas seguintes.

4. **Desenvolvimento e Proposta de Soluções**
   Com base na informação recolhida, foram elaboradas propostas de melhoria orientadas para a redução de custos e tempos operacionais defenidos. Procedeu-se à reengenharia dos processos existentes, definindo novos fluxos de trabalho em função das ferramentas a implementar e identificando as alterações e integrações necessárias para garantir a eficácia das mesmas.

5. **Teste e Ajuste Operacional das Soluções**
   Nesta fase final do ciclo de investigação-ação, as propostas foram aplicadas ao ambiente real, avaliando-se a correspondência entre os resultados obtidos e os objetivos definidos, e procedendo aos ajustes necessários para otimizar o desempenho das mesmas.

6. **Conclusões e Trabalhos Futuros**
   Procedeu-se à comparação do desempenho das soluções implementadas com a situação inicial,

permitindo avaliar o seu impacto nos principais indicadores definidos. Por fim, destacaram-se os resultados obtidos e as oportunidades de melhoria para futuros desenvolvimentos.

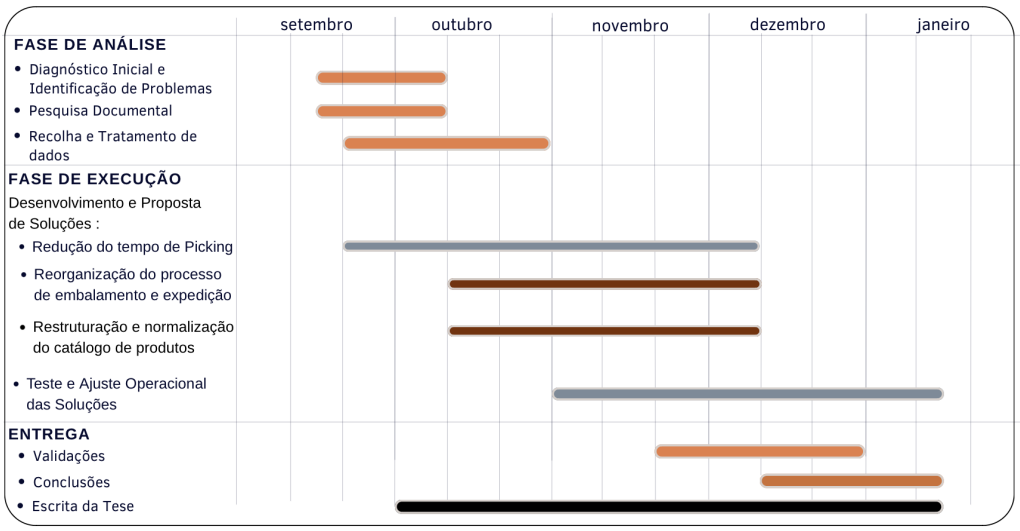


Figura 1.1: Cronograma.

Os principais marcos do projeto incluíram:

- Apoio à implementação da leitura por código de barras nos processos logísticos;
- Simulador de rotas de *picking*;
- Avaliação da possibilidade de reorganização do armazém com base na Análise ABC;
- Reorganização dos processos do armazém, com a definição de novos fluxos e métodos de trabalho;
- Reestruturação e normalização do catálogo de produtos, com criação de uma hierarquia de famílias e subfamílias;

Esta abordagem conduzida em diferentes fases permitiu uma evolução estruturada do projeto, com resultados progressivos em cada etapa e um foco constante na aplicação prática das soluções e na melhoria da eficiência logística da empresa.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi organizada em seis capítulos, estruturados de forma a assegurar uma leitura lógica e coerente do trabalho desenvolvido, desde o enquadramento teórico até à apresentação dos resultados alcançados.

O Capítulo 1 apresenta a introdução ao tema, incluindo o enquadramento do projeto, os objetivos gerais e específicos, a motivação, o método seguido e a estrutura global da dissertação.

O Capítulo 2 corresponde à revisão de literatura, onde são abordados os principais conceitos relacionados com a Gestão da Cadeia de Abastecimento, a Logística 4.0 e as tecnologias e métodos associadas à digitalização dos processos logísticos.

No Capítulo 3 descreve-se o problema em estudo, apresentando-se a caracterização dos processos logísticos da ISMA e a análise das principais limitações e ineficiências identificadas, Tendo como objetivo enquadrar de forma clara os desafios existentes e servindo de base para a definição das propostas de melhoria.

O Capítulo 4 expõe o desenvolvimento do projeto e a implementação das soluções propostas, detalhando o método seguido, as fases de recolha e análise de dados e a reengenharia dos processos logísticos.

O Capítulo 5 apresenta e analisa os resultados obtidos com a implementação das soluções propostas, avaliando o seu impacto nos processos logísticos da empresa e comparando o desempenho alcançado com a situação inicial. Este capítulo inclui também sugestões e oportunidades de melhoria a considerar em desenvolvimentos futuros.

Por fim, o Capítulo 6 contém as conclusões do projeto, destacando as contribuições alcançadas, limitações identificadas e oportunidades de investigação futuras.

Esta estrutura visa garantir uma progressão clara e coerente, permitindo compreender o percurso metodológico adotado e o impacto das soluções propostas na otimização da cadeia de abastecimento da ISMA.

Capítulo 2

Revisão de literatura

Neste capítulo apresentam-se os principais fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento do projeto, suportando a análise do estado atual (AS-IS), o diagnóstico das ineficiências e a definição do estado futuro pretendido (TO-BE). São abordados temas como a digitalização dos processos logísticos, a análise de dados, a reengenharia de processos, a organização de armazéns e os indicadores de desempenho (KPIs) como apoio à tomada de decisão e à avaliação da eficiência operacional.

2.1 Fundamentos da Logística e Gestão de Cadeias de Abastecimento

A Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento (SCM) desempenham um papel determinante na eficiência operacional e na competitividade das empresas, ao gerirem e coordenarem os fluxos de bens, serviços e informação ao longo da cadeia (Anwar et al., 2025). No âmbito deste projeto, estes conceitos constituem a base teórica para a análise dos processos de armazém e para a identificação de oportunidades de melhoria, sustentando a seleção das metodologias e ferramentas aplicadas.

2.1.1 Conceitos sobre Logística

A eficiência logística assenta na otimização integrada dos processos ao longo da cadeia de abastecimento, implicando a gestão de *trade-offs* entre as principais dimensões da gestão logística (Nguyen, 2025). Este equilíbrio é determinante para assegurar um desempenho operacional consistente, uma vez que melhorias numa dimensão podem ter impactos diretos nas restantes, exigindo decisões informadas e orientadas para a eficiência global do sistema. Os *trade-offs* da logística são :

- Tempo;
- Custo;
- Qualidade de serviço.

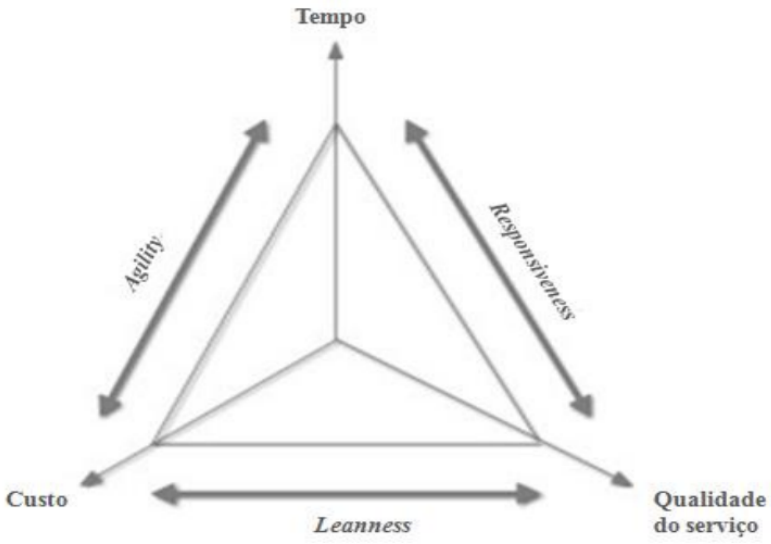


Figura 2.1: *Trade-offs* da Logistica

Como cada uma destas dimensões, representadas na Figura 2.1 , influencia as restantes, é importante compreender as suas inter-relações e a forma como a conjugação entre elas determina o posicionamento estratégico do sistema logístico.

- *Agility* (Tempo + Custo): Representa a capacidade de o sistema logístico responder rapidamente, com coordenação e equilíbrio, às necessidades dos clientes, a um custo comportável.
- *Leanness* (Custo + Qualidade do Serviço): Representa a capacidade de gerir operações logísticas sem desperdícios, assegurando níveis elevados de serviço ao menor custo possível.
- *Responsiveness* (Tempo + Qualidade do Serviço): Desenvolve a capacidade de resposta do sistema logístico, isto é, a habilidade do sistema logístico em adaptar-se e responder rapidamente às variações da procura.

Embora o foco recaia no equilíbrio entre tempo, custo e qualidade de serviço — e nas suas combinações —, a logística empresarial envolve também outros *trade-offs* estratégicos, como a gestão de inventários, o desenho da rede e a organização dos armazéns, com impacto direto nos custos, no nível de serviço e na eficiência global.

2.1.2 Cadeia de Abastecimento (*Supply Chain Management*)

No contexto da gestão logística, a Cadeia de Abastecimento assume um papel central na coordenação dos fluxos de materiais e informação (Huo et al., 2025). A ausência de integração e de partilha eficaz de informação pode originar ineficiências relevantes, como o Efeito *Bullwhip*, ilustrado na Figura 2.2 , no qual pequenas variações na procura do cliente final são progressivamente amplificadas nas encomendas realizadas a montante da cadeia (Moreno-Baca et al., 2025).

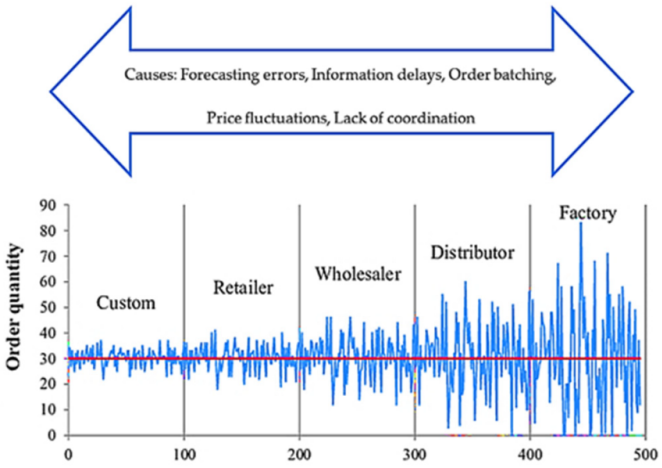


Figura 2.2: Efeito *Bullwhip*

Uma cadeia de abastecimento eficiente baseia-se na integração equilibrada dos fluxos físicos, informacionais e financeiros, essenciais para o desempenho organizacional (Moreno-Baca et al., 2025). Neste contexto, o armazém assume um papel central na coordenação destes fluxos, justificando a análise do seu funcionamento e das oportunidades de melhoria associadas à digitalização.

2.2 Gestão de Armazém

No contexto deste projeto, a gestão de armazém assume um papel central por incidir diretamente sobre as operações internas de armazenagem. Entendida como a função logística responsável pela gestão e controlo do *stock*, assegura a organização eficiente dos bens armazenados e sustenta a análise dos processos existentes e das soluções de melhoria propostas (Kamali, 2019).

2.2.1 Organização Física (*layout* e fluxos) de um Armazém

Os armazéns podem ser classificados pela fase na cadeia (matérias-primas, WIP, bens acabados), pelo tipo de produto, ou pela função. Existem papéis que os armazéns têm vindo a desempenhar como (Potoczki et al., 2024):

- Centro de Consolidação: Ponto logístico onde produtos de diferentes origens são reunidos e combinados em carregamentos únicos, otimizando o transporte e a distribuição para clientes ou regiões específicas.
- *Cross-docking*: Processo logístico em que as mercadorias são transferidas diretamente da receção para a expedição, sem armazenamento, exigindo elevada coordenação entre fornecedores e transportadores.

A configuração física de um armazém influencia a eficiência logística, sendo o *layout* determinante na organização das zonas e nos fluxos de movimentação interna. Quanto ao *layout*, o fluxo pode ser (Saderová et al., 2021):

- **Fluxo Direcionado**: A expedição localiza-se no extremo oposto à receção, reduzindo congestionamentos, mas aumentando o percurso total e limitando a flexibilidade, sobretudo em armazéns de menor dimensão.
- **Fluxo Quebrado (ou em U)**: Como ilustrado na Figura 2.3, a receção e a expedição localizam-se próximas, formando um percurso em "U" que reduz movimentações e permite a partilha de recursos, podendo, contudo, gerar congestionamentos em volumes elevados;

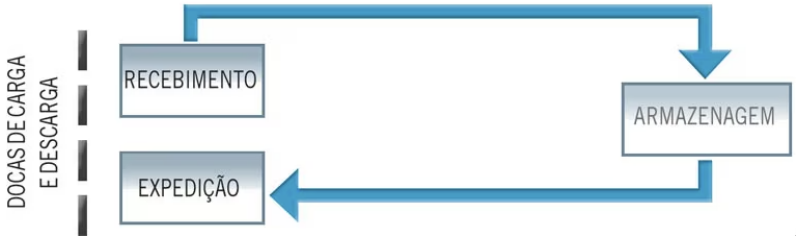


Figura 2.3: Fluxo Quebrado.

Embora abordagens como o *Lean Management* e o *Just in Time* visem reduzir desperdícios e minimizar *stocks*, as incertezas da cadeia de abastecimento tornam necessária a manutenção de *stocks* de segurança. O objetivo é assegurar o nível de serviço pretendido ao menor custo possível, garantindo a disponibilidade dos materiais no momento e local adequados (Lara et al., 2022).

2.2.2 Operações Basicas de um Armazém

O sistema de armazenamento engloba um conjunto de atividades desde a entrada dos produtos até à sua saída (Adeodu et al., 2023).

- **Receção**: Entrada física dos artigos. Envolve descarga, recolha de documentação por parte do fornecedor ou transportadora, verificação de ordens de compra e gravação no sistema;
- **Conferência**: Verificação do tipo, quantidade e qualidade da mercadoria de acordo com as especificações. Idealmente, a receção e conferência deveriam ser efetuadas em simultâneo para evitar erros;
- **Arrumação (*Put-away*)**: Colocar os artigos nos espaços de armazenamento disponíveis, verificando a localização. A arrumação tem impacto na eficiência do manuseamento e na taxa de utilização do espaço;
- ***Picking***: Atividade de recolha de produtos para satisfazer as encomendas. Uma das operações mais críticas e demoradas do armazém, com impacto significativo no tempo de ciclo e na eficiência operacional;
- **Preparação e Expedição**: As últimas operações, sendo que a preparação consiste em colocar os produtos na palete/caixas e proceder ao embalamento e selagem das mesmas. A expedição é o carregamento do veículo, com a documentação necessária.



Figura 2.4: Operações básicas de armazém.

As atividades ilustradas na Figura 2.4 asseguram o fluxo de entrada e saída de materiais num armazém, constituindo a base da gestão operacional. No que respeita à rotação de *stocks*, o método FIFO (*First In, First Out*) garante que os primeiros artigos a entrar são os primeiros a sair, prevenindo a obsolescência; o LIFO (*Last In, First Out*) segue o princípio inverso; e o BFIFO (*Batch First In, First Out*) aplica o FIFO por lotes, assegurando rastreabilidade e controlo de qualidade (Adeodu et al., 2023).

2.2.3 Métodos de *Picking* e Estratégias de Separação

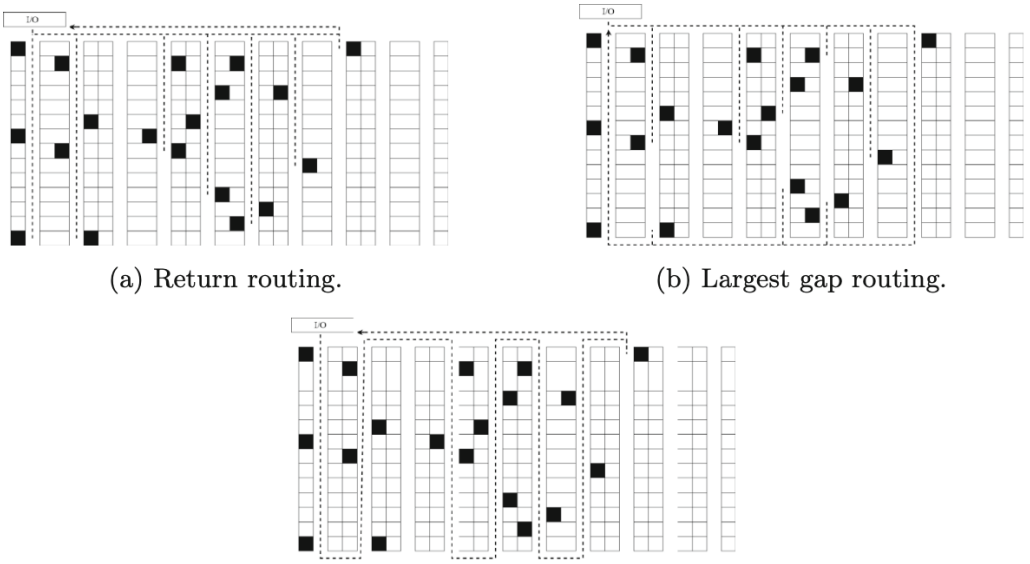
A escolha do método de *picking* depende das condições operacionais do armazém, do perfil das encomendas e dos recursos disponíveis. Apesar do avanço da automação, o modelo *picker-to-parts*, no qual os operadores se deslocam até às localizações dos produtos armazenados, continua a ser o mais utilizado, sendo descritas na literatura várias estratégias de separação associadas a este método (Mokarrari et al., 2025).

- *Batch Picking*: Agrupa vários pedidos num único lote de recolha;
- *Wave Picking*: Organiza os pedidos de acordo com janelas temporais ou prazos de expedição comuns;
- *Zone Picking*: Divide o armazém em zonas fixas, atribuídas a operadores específicos;
- *Strict Order Picking*: Cada operador recolhe integralmente um único pedido por percurso.

De acordo com Mokarrari et al. (2025), a maioria dos estudos foca-se na minimização do tempo, da distância ou dos custos operacionais, negligenciando fatores práticos como as diferenças entre operadores, o peso dos itens e a distribuição da carga de trabalho.

Para além da estratégia de separação, o desempenho do *picking* é fortemente influenciado pelas rotas percorridas, uma vez que a deslocação constitui a principal componente temporal do processo. A distância percorrida impacta diretamente o tempo e os custos operacionais, tornando a definição eficiente das rotas um fator crítico de desempenho (Chen et al., 2026). Neste contexto, os simuladores de rotas permitem analisar diferentes percursos com base em *layouts* reais, destacando-se as principais estratégias de definição de rotas de *picking*, ilustradas na Figura 2.5 (Bashatah and Elnaggar, 2025):

- ***S-shape***: O operador percorre integralmente cada corredor com itens a recolher, seguindo um padrão em ziguezague;
- ***Return***: cada corredor é percorrido apenas até ao ponto mais distante de recolha, regressando depois pelo mesmo trajeto;
- ***Largest gap***: o operador percorre cada corredor apenas até ao maior intervalo sem itens a recolher, evitando percursos desnecessários.



(a) Return routing. (b) Largest gap routing.

(c) S-shaped routing.

Figura 2.5: Comparação de diferentes heurísticas de roteamento.

Nos simuladores de rotas de *picking* em armazéns manuais, o desempenho das políticas de roteamento é geralmente avaliado pela distância total percorrida. Como os movimentos se restringem a uma rede ortogonal de corredores, a distância entre localizações é normalmente calculada através da Distância Manhattan, correspondente à soma dos deslocamentos horizontais e verticais (Chen et al., 2026).

Formalmente, considerando dois pontos $i = (x_i, y_i)$ e $j = (x_j, y_j)$ localizados na malha de corredores do armazém, a distância Manhattan é dada por:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|. \tag{2.1}$$

Nos simuladores de *picking*, a distância total de uma rota é calculada pela soma das deslocações nos corredores de *picking* (*within-aisle*) e transversais (*cross-aisle*), recorrendo à métrica Manhattan e a parâmetros do *layout* do armazém. Esta abordagem é amplamente utilizada por representar de forma realista os percursos em armazéns manuais e permitir a comparação consistente de diferentes políticas de roteamento (Bashatah and Elnaggar, 2025).

Neste contexto, os Sistemas de Apoio à Decisão (DSS) permitem aplicar conceitos de roteamento e avaliação de desempenho em ambientes industriais reais. Ferramentas acessíveis, como simuladores de rotas desenvolvidos em *Excel* com *VBA*, possibilitam a análise de cenários e a comparação de políticas de roteamento sem recurso a modelos computacionalmente intensivos, sendo particularmente adequadas para pequenas e médias empresas com recursos limitados, como a ISMA (Bashatah and Elnaggar, 2025).

2.2.4 Tecnologias de Suporte

A gestão de armazém evoluiu para práticas mais ágeis e tecnologicamente integradas. No contexto da Indústria 4.0, a integração ciber-física, suportada por sensores, RFID e IoT, permite a recolha de dados em tempo real, materializando-se na Logística 4.0 e nos Armazéns Inteligentes, onde os Sistemas Ciber-Físicos (CPS) suportam decisões autónomas (Min, 2023). Neste âmbito, destacam-se as seguintes tecnologias aplicadas às operações de armazém:

- **IoT**: A Internet das Coisas (IoT) conecta objetos físicos a sistemas digitais, permitindo a recolha de dados em tempo real. Na logística, funciona como uma rede de sensores e dispositivos inteligentes que monitorizam e otimizam as operações de armazém.
- **Leitura por Código de Barras**: Trata-se de uma das formas mais comuns de identificação e monitorização de produtos. Utiliza *scanners* óticos para interpretar códigos impressos nas embalagens ou etiquetas, permitindo registar entradas, saídas e movimentações de forma rápida e económica.
- ***Voice Picking***: Baseia-se na comunicação em tempo real entre o operador e o sistema de gestão de armazém (WMS) através de rádiofrequência. As instruções são transmitidas por voz e confirmadas verbalmente, permitindo operação com mãos livres e maior precisão nas tarefas de recolha (Dujmešić et al., 2018).
- ***Pick-to-light/Put-to-light***: Utilizam sinalização luminosa para guiar o operador nas tarefas de recolha e colocação de produtos. As luzes indicam a localização e quantidade de cada artigo, permitindo maior rapidez e precisão no *picking*, especialmente em operações com elevado volume de pequenas unidades (Stockinger et al., 2020).
- ***Smart Glasses/Pick-by-vision***: Utilizam óculos inteligentes com realidade aumentada (AR) para apoiar o *picking*, fornecendo instruções visuais em tempo real que aumentam a eficiência, a precisão e a ergonomia das operações (Koutromanos and Kazakou, 2023).

Apesar do investimento inicial em equipamentos, soluções RFID permitem reduzir os custos operacionais em cerca de 25% (Zhang et al., 2023), o *Voice Picking* aumenta a produtividade até 20% (Group, 2022), os sistemas *Pick-to-Light* reduzem até 50% a necessidade de mão-de-obra (Automation, 2023), e os *Smart Glasses* contribuem para a melhoria da ergonomia e para a redução de erros (Schwerdtfeger et al., 2024).

Para além das tecnologias operacionais, a literatura refere soluções avançadas de localização interior, como os *Indoor Positioning Systems* (IPS), baseados em RFID, *Bluetooth Low Energy* ou *Ultra-Wideband*. Contudo, devido aos elevados custos de implementação, a sua adoção é mais comum em armazéns automatizados, sendo que, em contextos manuais, soluções de identificação discreta e apoio ao operador se revelam mais viáveis do ponto de vista económico e operacional (Vaccari et al., 2024).

2.3 Controlo do Inventário

O inventário (*stock*) corresponde ao conjunto de itens disponíveis numa organização, sendo regulado por políticas de reposição. No âmbito deste projeto, a sua gestão é determinante para o desempenho das operações de armazém, justificando o recurso a técnicas de controlo seletivo.

2.3.1 Técnicas de Controlo Seletivo

Existe um conjunto alargado de técnicas de controlo de inventário, apresentadas na Tabela 2.1 , utilizadas para otimizar os níveis de *stock*, assegurar a fiabilidade da informação e reduzir os custos associados à sua gestão.

Tabela 2.1: Técnicas e ferramentas de controlo de inventário (Pandya and Desai, 2019)

Técnica	**Descrição**
ABC (*Always Better Control*)	Classifica os itens de acordo com o valor de consumo anual, concentrando o controlo nos produtos de maior impacto financeiro.
HML (*High, Medium, Low*)	Baseia-se no preço unitário dos artigos, aplicando diferentes níveis de controlo conforme o custo.
VED (*Vital, Essential, Desirable*)	Avalia a criticidade dos materiais — vitais requerem disponibilidade total; desejáveis podem ser adiados.
XYZ	Classifica produtos segundo a variabilidade da procura e o valor armazenado, permitindo rever níveis de *stocks* e planear reposições.
FSN (*Fast-moving, Slow-moving, Non-moving*)	Considera a frequência de consumo para identificar itens obsoletos, de baixa rotação ou em excesso.
SDE (*Scarce, Difficult, Easy*)	Agrupa artigos conforme a dificuldade de aquisição e o *lead time*.
SOS (*Seasonal, Off-Seasonal*)	Divide os produtos conforme a sazonalidade, otimizando políticas de compra e armazenamento ao longo do ano.

Entre as técnicas de controlo seletivo, a Análise ABC é aprofundada no capítulo seguinte por

ser a mais adequada aos objetivos e ao contexto operacional da dissertação. Esta metodologia permite classificar os artigos segundo a sua importância relativa, com base no valor de consumo ou na frequência de movimentação, estando diretamente associada ao esforço operacional e ao desempenho do *picking*. A sua simplicidade de implementação e aplicabilidade a ambientes manuais justificam a sua escolha face a outras técnicas mais orientadas para decisões de planeamento de compras ou gestão de risco.

2.3.2 Análise ABC

A Análise ABC, baseada no princípio de *Pareto* (80/20), é amplamente utilizada na classificação de inventários, assumindo que uma pequena percentagem de itens representa a maior parte do valor total. As SKU são agrupadas em classes segundo critérios de relevância, podendo considerar, além do valor de consumo, fatores como custos de armazenamento, importância operacional, prazo de fornecimento, risco de obsolescência e nível de procura, permitindo uma classificação mais ajustada aos objetivos da organização (Liu and Ma, 2020).

A segmentação ABC determina o nível de atenção e o método de controlo a aplicar :

- **Classe A**: Cerca de 20% dos artigos, representando aproximadamente 80% do critério escolhido.
- **Classe B**: Cerca de 30% dos artigos, representando aproximadamente 15% do critério escolhido. Têm importância intermédia, podendo usar o modelo de revisão contínua ou periódica com períodos mais curtos entre encomendas.
- **Classe C**: Os restantes 50% dos artigos, representando apenas aproximadamente 5% do critério escolhido. São adequados a um sistema menos rigoroso, como a revisão periódica alargada ou um sistema de duplo lote (gestão visual), com custos de aprovisionamento reduzidos.

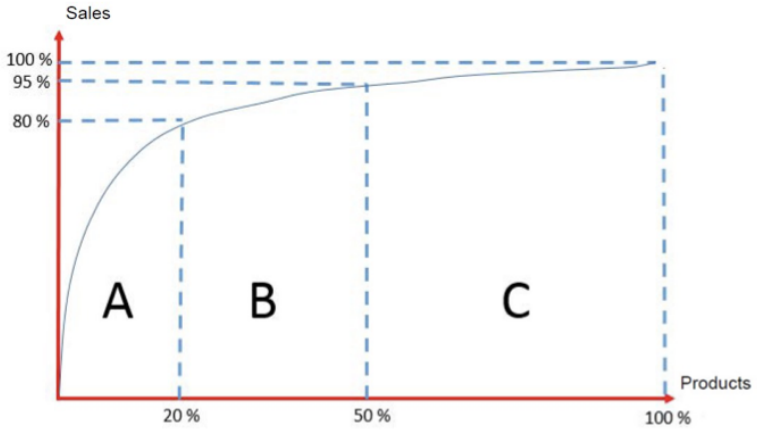


Figura 2.6: Classificação ABC de produtos por vendas.

A classificação ilustrada na Figura 2.6 evidencia o princípio central da Análise ABC, segundo

o qual um número reduzido de artigos concentra a maior parte do impacto económico ou operacional. Esta técnica baseia-se na análise de dados históricos de *stock*, enquadrando-se na analítica descritiva e dependendo da qualidade da informação disponível. Assim, a Análise ABC constitui um exemplo da aplicação da análise de dados ao apoio à decisão na gestão de armazéns, justificando o enquadramento apresentado na secção seguinte.

2.3.3 Análise de Dados no Controlo de Inventário

A análise de dados corresponde ao processo de recolha e interpretação de dados para apoiar a tomada de decisão e melhorar o desempenho organizacional. No contexto empresarial, é designada por Analítica Empresarial (*Business Analytics*), integrando métodos estatísticos e computacionais para transformar dados em conhecimento acionável (Mikalef et al., 2020).

A literatura distingue, como ilustrado na Figura 2.7 , de forma relativamente consensual, diferentes níveis de analítica, em função do tipo de questões que pretendem responder (Jahani et al., 2023):

- Analítica Descritiva (*Descriptive Analytics*): Procura responder à questão "o que aconteceu? ", recorrendo a estatísticas descritivas, indicadores de desempenho e relatórios;
- Analítica Preditiva (*Predictive Analytics*): Visa antecipar "o que poderá acontecer?", através de modelos estatísticos e de aprendizagem automática;
- Analítica Prescritiva (*Prescriptive Analytics*): Procura determinar "o que deve ser feito? ", combinando modelos de previsão com técnicas de otimização e simulação.

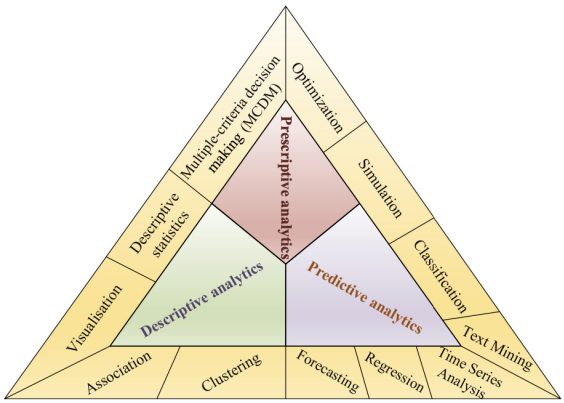


Figura 2.7: Modelo conceptual das principais abordagens de Ciência de Dados e Analítica de *Big Data*

Em muitos contextos operacionais, particularmente em ambientes logísticos e de armazém, a analítica descritiva assume um papel central, ao permitir medir o desempenho, identificar ineficiências e sustentar decisões de melhoria contínua. Através da exploração de dados históricos e operacionais, estas abordagens fornecem uma base objetiva para compreender o comportamento dos processos logísticos e apoiar a definição de ações de otimização, constituindo um elemento fundamental na gestão orientada por dados das operações de armazém.

2.3.3.1 Preparação, Qualidade e Normalização dos Dados

A preparação dos dados (*Data Preprocessing*) é uma etapa crítica na analítica aplicada à gestão da cadeia de abastecimento, influenciando a fiabilidade dos resultados, especialmente em contextos logísticos com múltiplas fontes de dados. Este processo engloba *Data Cleaning*, *Data Integration*, *Data Transformation* e *Data Reduction*, sendo a normalização transversal e essencial para garantir a coerência, a comparabilidade e a qualidade da informação analisada (Obinwanne et al., 2023).

Assim, a preparação e normalização dos dados devem ser encaradas como elementos estruturantes do processo analítico, condicionando diretamente a qualidade da informação gerada e a sua utilidade para a tomada de decisão em operações logísticas.

2.4 Indicadores de Desempenho e Avaliação de Resultados

A avaliação de desempenho logístico, através de indicadores de desempenho (KPIs), permite medir a eficiência operacional, identificar oportunidades de melhoria e alinhar as operações com os objetivos da cadeia de abastecimento (Nguyen, 2025). Assim, os indicadores devem ser organizados de acordo com o nível de decisão a que se destinam (Madanchi et al., 2025).

- **Estratégicos**: Avaliam o desempenho global da cadeia de abastecimento, refletindo a sua eficácia e sustentabilidade a longo prazo.
- **Táticos**: Medem a eficiência de áreas ou processos específicos, suportando decisões intermédias de planeamento e otimização.
- **Operacionais**: Focam-se na monitorização das atividades diárias e no controlo de processos internos do armazém.

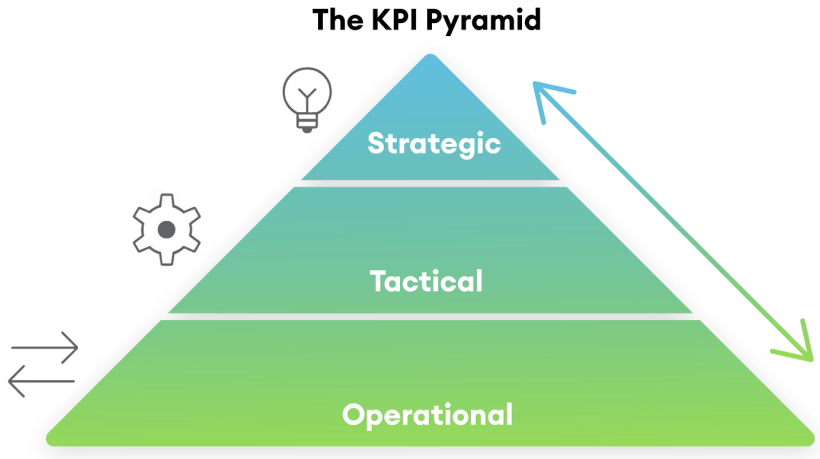


Figura 2.8: Pirâmide de KPIs (estratégico–tático–operacional) (SimpleKPI, 2025).

A hierarquização dos indicadores apresentada na Figura 2.8 evidencia a importância de selecionar métricas de desempenho alinhadas com o nível de decisão a que se destinam, assumindo

um papel central na caracterização do estado atual (AS-IS) e na avaliação do impacto das soluções propostas no estado futuro (TO-BE). Neste enquadramento, a secção seguinte apresenta os principais critérios para a definição de indicadores adequados ao contexto operacional em estudo.

2.4.1 Critérios de Definição de Indicadores de Desempenho

De acordo com (Mhaskey, 2024), os indicadores de desempenho (KPIs) devem ser selecionados de forma criteriosa, refletindo não apenas o desempenho operacional, mas também o alinhamento estratégico e a maturidade digital da cadeia de abastecimento. Neste contexto, destacam-se os seguintes critérios fundamentais:

- **Alinhamento estratégico**: os KPIs devem estar alinhados com os objetivos estratégicos da organização, garantindo que a avaliação de desempenho contribui para a criação de valor e vantagem competitiva.
- **Mensurabilidade e fiabilidade dos dados**: os indicadores devem ser quantificáveis e baseados em dados consistentes, atualizados e de qualidade, assegurando a credibilidade da avaliação de desempenho.
- **Adequação ao nível de decisão**: os KPIs devem ser definidos de acordo com o nível estratégico, tático ou operacional, apoiando decisões de planeamento, controlo e melhoria contínua dos processos logísticos.
- **Sensibilidade à mudança**: os indicadores devem permitir a deteção atempada de desvios e apoiar ações corretivas, promovendo a melhoria contínua em ambientes dinâmicos e digitalizados.
- **Integração de dimensões financeiras e não financeiras**: a avaliação de desempenho deve considerar, de forma equilibrada, indicadores financeiros e não financeiros, incluindo eficiência operacional, nível de serviço, flexibilidade, sustentabilidade e resiliência da cadeia de abastecimento.

Deste modo, os critérios apresentados orientam a seleção dos indicadores utilizados na análise do estado atual (AS-IS) e na avaliação do impacto das soluções propostas para o estado futuro (TO-BE), garantindo a sua relevância e aplicabilidade ao contexto operacional em estudo.

2.4.2 Indicadores Estratégicos

Os indicadores estratégicos avaliam o impacto das melhorias na competitividade global, eficiência e sustentabilidade, garantindo o alinhamento com os objetivos estratégicos e a transformação digital. Neste contexto, foram considerados os seguintes indicadores:

- ***Lead Time* total de entrega ao cliente**: Corresponde ao tempo médio decorrido entre a receção do pedido e a sua entrega ao cliente (Potoczki et al., 2024). Este indicador reflete

a capacidade de resposta da organização ao mercado e a eficiência integrada dos processos logísticos.

$$LT_{\text{Total}} = t_{\text{entrega}} - t_{\text{pedido}} \tag{2.2}$$

- **Custo Logístico Total sobre Vendas**: Mede a eficiência global dos custos logísticos e o seu impacto financeiro na empresa (Chen et al., 2024). Este indicador corresponde à razão entre o custo logístico total e o volume de vendas, expressa em percentagem.

$$CL = \frac{C_{\text{logístico}}}{V_{\text{vendas}}} \times 100 \tag{2.3}$$

Estes indicadores permitem enquadrar a análise dos resultados ao nível estratégico, avaliando o impacto global das soluções propostas no desempenho da cadeia logística.

2.4.3 Indicadores Táticos

Os indicadores táticos ligam o nível estratégico ao operacional, apoiando a gestão de recursos e processos e permitindo avaliar o desempenho e as melhorias implementadas na empresa. Neste contexto, foi considerado o seguintes indicador:

- **Custo médio de embalamento por encomenda**: Corresponde ao custo total associado às operações de embalamento dividido pelo número de encomendas embaladas num determinado período (Chen et al., 2024). Este indicador permite avaliar a eficiência económica do processo de embalamento e identificar oportunidades de redução de custos.

$$C_{\text{emb}} = \frac{C_{\text{emb,total}}}{N_{\text{encomendas}}} \tag{2.4}$$

O indicador tático definido permite avaliar a eficiência dos recursos e dos processos intermédios, servindo de suporte à tomada de decisão ao nível da gestão operacional.

2.4.4 Indicadores Operacionais

Após os indicadores estratégicos e táticos, os indicadores operacionais permitem avaliar o desempenho diário das atividades logísticas e as melhorias concretas alcançadas ao nível da execução dos processos. Estes indicadores incidem diretamente sobre as operações de *picking*, embalamento e expedição, sendo fundamentais para monitorizar a eficiência operacional.

Neste contexto, foram considerados os seguintes indicadores operacionais:

- **Tempo Médio de *Picking***: Por vezes designado na literatura como *Completion Time*, corresponde ao tempo total decorrido desde o início da separação até à sua conclusão, refletindo a eficiência do processo de *picking* (Chondromatidis et al., 2024).

$$T_{\text{pick}} = \frac{\sum T_{\text{picking}}}{N_{\text{encomendas}}} \tag{2.5}$$

- **Distância Média Percorrida**: Mede o percurso físico médio realizado pelos operadores durante a recolha dos artigos, estando diretamente associada ao esforço e ao tempo despendido no processo de *picking* (Vaccari et al., 2024).

$$D_{\text{média}} = \frac{\sum Dist_{\text{percorrida}}}{N_{\text{pedidos}}} \tag{2.6}$$

- **Taxa de Erros de *Picking***: Representa a percentagem de erros registados em relação ao número total de linhas processadas, permitindo avaliar a fiabilidade do processo de separação (Marziali et al., 2022).

$$E = \frac{\text{Erros}}{\text{Linhas totais}} \times 100 \tag{2.7}$$

- **Tempo Médio de Embalamento**: Corresponde ao tempo médio efetivamente gasto na atividade de embalamento, incluindo o fecho de caixas, aplicação de fita e preparação para expedição. Este indicador enquadra-se nos indicadores temporais de desempenho logístico utilizados para avaliar a eficiência das operações de armazém (Götz et al., 2023).

$$TME = \frac{T_{\text{emb,total}}}{N_{\text{unidades}}} \tag{2.8}$$

- **Tempo Médio de Emissão Documental**: Mede o tempo decorrido entre a conclusão do embalamento e a emissão da documentação de expedição, refletindo a eficiência do fluxo documental (Madanchi et al., 2025).

$$T_{\text{doc}} = \frac{\sum(t_{\text{emissão}} - t_{\text{fim}})}{N} \tag{2.9}$$

Estes indicadores permitem avaliar, de forma objetiva, o desempenho diário das operações logísticas e o impacto das melhorias propostas ao nível operacional.

2.4.5 Avaliação de Resultados e Melhoria Contínua

A avaliação dos indicadores de desempenho é essencial para apoiar a tomada de decisão operacional e promover a melhoria contínua, sendo reforçada, no contexto da transformação digital, por metodologias estruturadas como o ciclo PDCA (*Plan–Do–Check–Act*), que organiza o processo de melhoria em quatro etapas (Naughton et al., 2024):

- Planear as metas e ações;
- Executar as melhorias;
- Verificar os resultados obtidos;
- Agir de forma corretiva ou padronizada ;

Este ciclo promove a aprendizagem organizacional e a atualização contínua dos processos logísticos, apoiado por ferramentas digitais que facilitam a recolha e análise de dados. Assim, a avaliação de resultados associada à melhoria contínua transforma os indicadores de desempenho em instrumentos estratégicos de eficiência e reforça a capacidade de resposta das operações.

Capítulo 3

Descrição do Problema

Este capítulo tem como objetivo descrever o problema em estudo, caracterizar os processos logísticos da ISMA, e analisar as principais limitações e ineficiências identificadas, servindo de base para a definição das propostas de melhoria apresentadas nas fases seguintes.

3.1 Contextualização Operacional da ISMA

Entre 2017 e 2024, o *stock* da empresa aumentou cerca de 50%, intensificando os *trade-offs* da gestão logística e afetando o tempo de resposta, os custos operacionais e o nível de serviço. Este crescimento resultou em falhas nas operações de *picking*, redundâncias nos processos de embalamento e expedição, desorganização do catálogo de produtos e discrepâncias entre o *stock* físico e o registado no sistema. Como consequência, registaram-se erros de inventário, devoluções e atrasos na expedição, evidenciando fragilidades na articulação entre os departamentos Comercial, Compras e Armazém/Logística.

A empresa opera num contexto logístico complexo, caracterizado por elevada variedade de referências, variabilidade das encomendas e crescimento do *stock*, exigindo uma integração eficaz dos fluxos físicos e informacionais. Apesar da utilização do sistema PHC como plataforma central de gestão dos processos administrativos, comerciais e operacionais (Software, 2023), a coordenação dos processos depende da coerência entre a informação registada e a execução física das operações, sendo a sua ausência suscetível de gerar fenómenos de descoordenação, como o efeito *Bullwhip*.

3.1.1 Principais Atividades do Armazém

O fluxo operacional do armazém da ISMA segue uma sequência contínua de atividades alinhadas com as operações básicas descritas na literatura, incluindo a Receção, Reposição (*Put-Away*), Separação de Pedidos (*picking*), Montagem, Embalamento e Expedição. Adicionalmente, é realizado um inventário físico anual para cumprimento dos requisitos legais e contabilísticos associados à validação do *stock*. Importa ainda salientar que, ao contrário de modelos logísticos baseados em *cross-docking*, anteriormente referidos na Secção 2.2.1, a operação da ISMA assenta

num sistema de armazenagem, onde os artigos permanecem em *stock* até serem requisitados para preparação de encomendas.

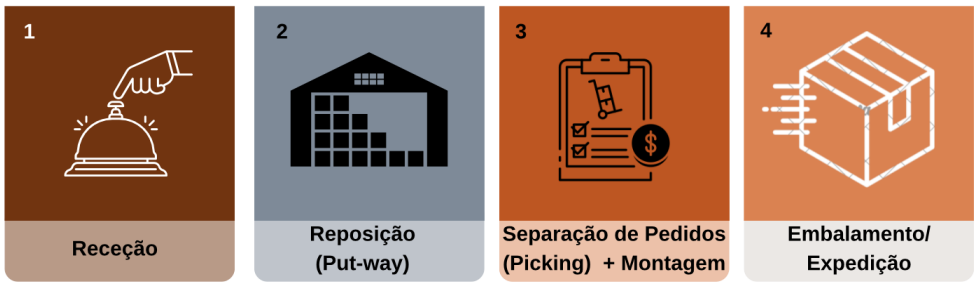


Figura 3.1: Atividades principais no armazém.

A Figura 3.1 sintetiza as principais atividades do armazém e a sua sequência operacional, evidenciando a interdependência entre os diferentes processos logísticos. Nas subsecções seguintes, cada uma destas atividades é descrita em detalhe, permitindo identificar os procedimentos adotados e os principais constrangimentos associados.

3.1.1.1 Receção

O processo compreende várias etapas internas, incluindo receção e verificação, desembalamento, validação, etiquetagem e gestão documental. Na receção, o operador confirma a documentação do fornecedor e da transportadora (guia de transporte e *packing list*, apresentadas nos Anexos A e B) e verifica o estado das embalagens. Segue-se a validação dos artigos no PHC, confirmando referência, designação e quantidades, sendo estas etapas apoiadas por um computador dedicado na área de receção e embalamento.

Após a validação, os artigos conformes são etiquetados e inicia-se a gestão documental, que varia consoante a origem da mercadoria. Para fornecedores nacionais, o armazém regista a entrada no PHC e encaminha a documentação para Compras, enquanto para fornecedores internacionais a entrada no PHC não é feita pelo Armazém, sendo a documentação digitalizada e registada no Registo de Receção (Anexo C) para validação do departamento de Compras. Concluída a troca de informação entre departamentos, a mercadoria segue para reposição.



Figura 3.2: Etapas da Receção.

A Figura 3.2 sintetiza o processo de receção atualmente praticado, com ilustração das ferramentas utilizadas (PHC e Outlook) e documentos trocados no processo (Anexos A , B e C), evidenciando a dependência de registos manuais e de comunicações interdepartamentais, fatores que condicionam a eficiência e a rastreabilidade do processo.

3.1.1.2 Reposição (*Put-Away*)

A reposição corresponde à colocação dos artigos nas localizações físicas previamente definidas, identificadas através de uma codificação estruturada por corredor, estante e fila (por exemplo, AA0101), assegurando a organização e a rastreabilidade do *stock*.

Conforme ilustrado na Figura 3.3 , o armazém da ISMA apresenta um fluxo quebrado (em U), com as zonas de Receção, Embalamento e Expedição localizadas próximas entre si na extremidade esquerda da instalação (Zonas 2 e 3). A Zona 2 corresponde à doca do armazém, onde ocorre a receção dos materiais e a entrega às transportadoras/clientes, enquanto que a Zona 3 é dedicada ao embalamento e à gestão documental no sistema PHC. A Zona 11 é utilizada para a colocação dos produtos que aguardam expedição. A área central do armazém é composta por corredores paralelos de estantes de armazenagem, com varios andares, que concentram a maioria das localizações de *stock*, existindo ainda acessos exclusivos para circulação de pessoal (Zonas 4).

O armazém dispõe igualmente de áreas de apoio às operações, nomeadamente zonas destinadas ao estacionamento do carro elétrico e da empilhadora (Zonas 6 e 7), uma área de apoio administrativo adicional (Zona 5) e uma zona de Montagem fisicamente separada no lado direito da instalação (Zona 8). Adicionalmente, existe uma área reservada para materiais específicos ou de maior dimensão (Zona 10), bem como zonas de apoio ao embalamento (Zona 12) e instalações sanitárias (Zona 9).

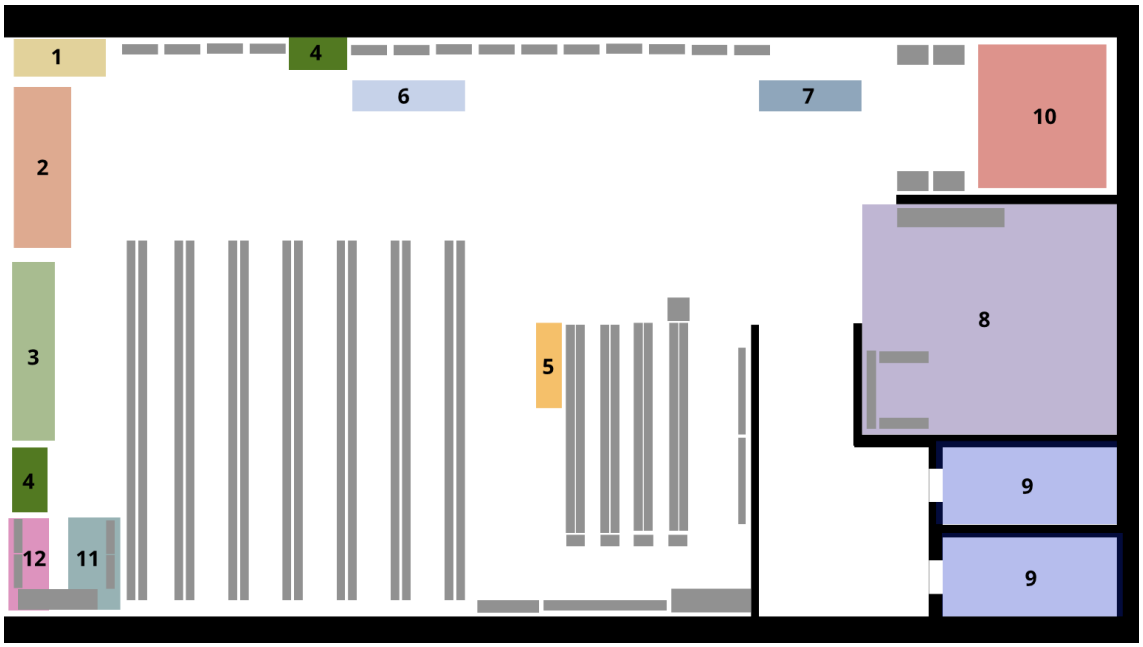


Figura 3.3: Planta do Armazém.

A reposição inicia-se com a confirmação do artigo pelo operador, que seleciona o meio de transporte adequado e procede à sua arrumação. Previamente, é verificada no PHC a existência de pedidos pendentes. Caso existam, o artigo é encaminhado para a zona de Pendentes (Zona 1) e identificado com a respetiva encomenda. Apenas os artigos sem pendentes são arrumados nas prateleiras.

3.1.1.3 Separação de Pedidos (*Picking*) e Montagem

O processo de separação de pedidos tem início com a receção, pelo armazém, da encomenda emitida pelo Departamento Comercial, frequentemente em formato papel e, por vezes, já acompanhada da fatura, em conformidade com os requisitos legais e documentais aplicáveis. A encomenda inclui a identificação dos artigos, respetivas quantidades e localizações, informação a partir da qual o operador percorre o armazém e recolhe os itens necessários.

Em linha com o enquadramento apresentado na revisão de literatura, a operação na ISMA segue predominantemente uma estratégia do tipo *picker-to-parts*, uma vez que o operador se desloca às localizações de armazenamento para efetuar a recolha. Adicionalmente, verifica-se que a separação é realizada de forma sequencial e pedido a pedido, correspondendo, na prática, a uma abordagem de *Strict Order Picking*. Apesar desta estratégia, observa-se elevada variabilidade na execução, dado que os percursos e métodos de deslocação diferem entre operadores, podendo aproximar-se de heurísticas de roteamento como *S-shape*, *Return* ou *Largest gap*, discutidas na revisão de literatura.

Em termos de rotação de *stock*, a recolha procura respeitar a filosofia FIFO, privilegiando a expedição dos artigos mais antigos, de modo a reduzir risco de obsolescência e assegurar uma gestão mais consistente do inventário, conforme referido no enquadramento teórico.

Adicionalmente, para além das operações de *picking*, podem ser realizadas atividades de montagem e configuração técnica, como a junção de atuadores e válvulas e a calibração de posicionadores e conversores, que requerem intervenção especializada e decorrem em áreas dedicadas (Zona 8).

3.1.1.4 Embalamento/Expedição

Concluído o *picking*, os artigos seguem para a área de embalamento, onde é feita uma verificação final quanto ao material recolhido e o defenido na fatura. O embalamento inclui a escolha da caixa adequada, proteção dos artigos, fecho e preparação da documentação. Posterioremnte, segue-se a criação das etiquetas de transporte, um processo demorado que obriga o operador a inserir manualmente, nos portais das transportadoras, informações como peso, morada de destino, contacto, e-mail do destinatário e número de volumes. As etiquetas são aplicadas nos volumes, juntamente com os documentos da encomenda. Por fim, a encomenda é expedida através das transportadoras parceiras da ISMA (DPD, Campos Cadilhe, Torrestir) ou, nos casos de levantamento nas instalações, os volumes são entregues diretamente ao cliente.

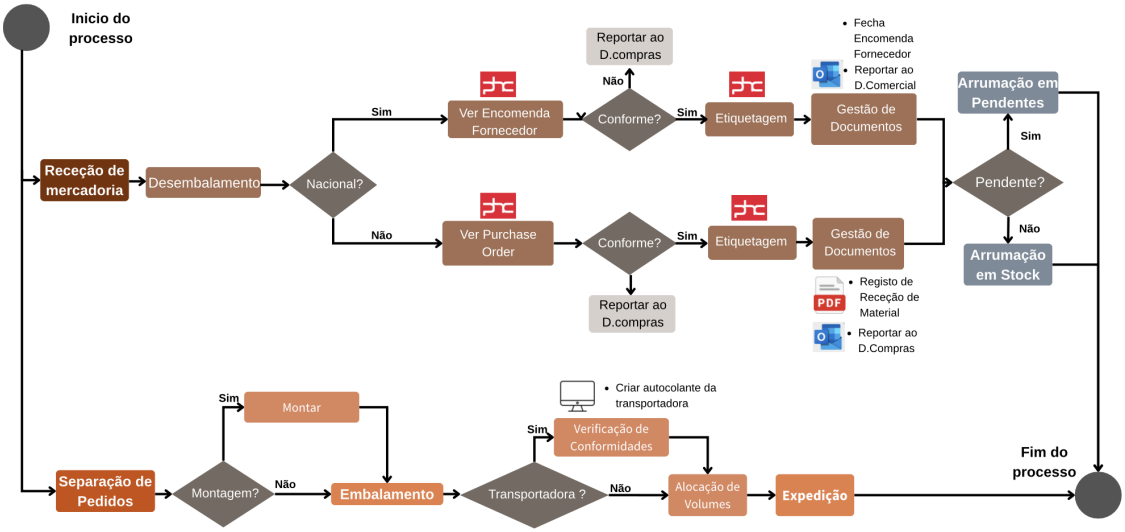


Figura 3.4: Fluxograma do processo logístico do Armazém da ISMA.

A Figura 3.4 sintetiza, através de um fluxograma, os principais processos logísticos do armazém da ISMA, oferecendo uma visão global do seu funcionamento operacional. Apesar de formalmente definidos, estes procedimentos apresentam constrangimentos ao nível da coordenação, padronização dos métodos de trabalho e eficiência operacional, comprometendo o desempenho global do armazém.

3.1.1.5 Inventário

O processo de inventário na ISMA é realizado periodicamente ao longo do ano e inicia-se no PHC, onde o operador descarrega um ficheiro Excel com as quantidades registadas no sistema. O documento é preparado para a contagem física, sendo formatado, filtrado por localização e impresso. Com esta folha, os operadores registam manualmente no armazém as quantidades reais existentes, permitindo comparar o *stock* físico com o apresentado no sistema. Após a contagem, o ficheiro é atualizado com os valores reais e identificado com a localização e a data, garantindo a rastreabilidade do processo. Por fim, o documento é enviado ao Departamento de Compras para validação e eventual correção no PHC, sendo igualmente arquivado no servidor interno, contribuindo para a fiabilidade da informação de *stock*.

3.1.2 Principais Atividades do Departamento Comercial

O Departamento Comercial desempenha um papel central no fluxo operacional da ISMA, constituindo a principal ligação entre os clientes e o armazém. O processo comercial desenvolve-se em quatro etapas principais — Receção do Pedido, Elaboração da Proposta, Criação da Encomenda e Envio do Pedido ao Armazém — como representado no fluxograma da Figura 3.5.

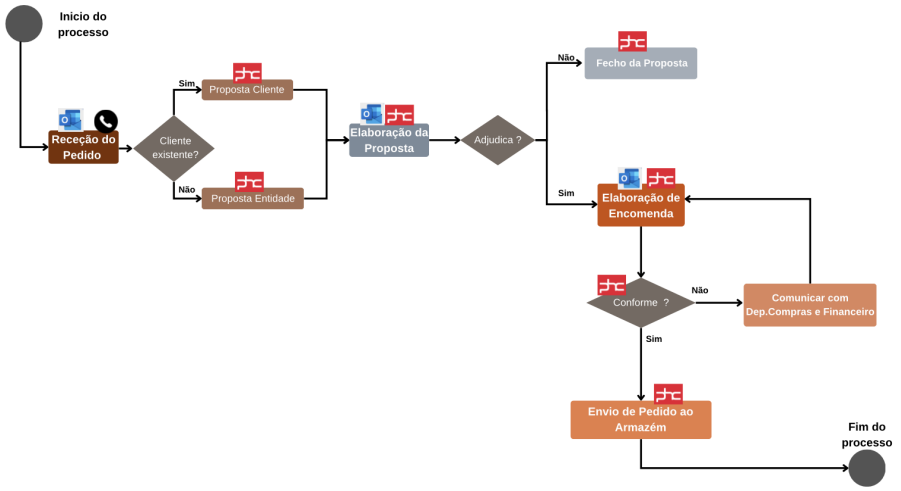


Figura 3.5: Fluxograma do processo logístico do Departamento Comercial da ISMA.

O processo inicia-se com a receção do pedido, geralmente por e-mail ou telefone, sendo verificado no PHC se o cliente se encontra registado e dispõe dos dados administrativos necessários. Caso contrário, procede-se à criação do cliente e ao registo da informação no sistema.

Segue-se a elaboração da proposta, uma das etapas mais críticas e demoradas, pois exige a pesquisa de artigos no PHC através de diversos filtros e a consulta de informação técnica para garantir a adequação às necessidades do cliente. A inexistência de um catálogo estruturado dificulta esta identificação, atrasando o processo e aumentando o risco de erro. Após a seleção, o comercial valida preços, prazos e condições de entrega, enviando ao cliente a proposta com a informação técnica e comercial relevante.

Após a adjudicação da proposta, é criada no PHC a Encomenda Cliente por cópia direta da proposta, sendo efetuada uma validação rigorosa das referências, quantidades, preços, condições de entrega, situação de crédito do cliente e margens comerciais. Eventuais incongruências implicam contacto com os Departamentos de Compras ou Financeiro. Concluída a encomenda, o documento é impresso no armazém e utilizado como suporte físico para dar início às operações de separação de pedidos.

3.2 Identificação dos Problemas

A análise dos processos logísticos da ISMA, no Armazém e no Departamento Comercial, apoiada pela observação direta, revisão dos fluxos operacionais e dados do PHC, permitiu identificar problemas que afetam significativamente a eficiência da cadeia de abastecimento.

3.2.1 Problemas nas Operações de *Picking* e Controlo de *Stock*

Verificou-se que a Separação de Pedidos é condicionada pela ausência de métodos estruturados de planeamento e otimização de percursos, sendo realizada segundo a sequência das encomendas

em papel, sem considerar o *layout* do armazém. Esta prática origina deslocações repetidas, cruzamentos de percursos e aumento do tempo de execução.

Adicionalmente, o processo depende em grande parte da experiência dos operadores, não existindo critérios formais ou ferramentas de apoio à decisão para definir a sequência de recolha, as rotas ou os meios de movimentação, o que gera variações de desempenho e dificulta a padronização do *picking*.

O *layout* do armazém contribui para a identificação das ineficiências do *picking*, uma vez que alguns artigos de elevada rotação encontram-se afastados das zonas de maior acessibilidade ou em níveis elevados de armazenagem. Como referido na literatura, a falta de alinhamento entre rotação e localização física aumenta as distâncias percorridas, a utilização de equipamentos de elevação e o esforço dos operadores, prolongando o tempo de preparação das encomendas.

No controlo de *stock* identificaram-se fragilidades, evidenciadas por discrepâncias recorrentes entre o *stock* físico e o registado no PHC, resultantes da falta de validações sistemáticas nas fases de receção, reposição e *picking*, bem como do uso de registos manuais. Estas inconsistências originam anulações de faturas, atrasos na expedição e retrabalho das equipas de armazém e de Compras.

3.2.2 Problemas no Embalamento e Expedição

A fase de Embalamento e Expedição apresenta ineficiências associadas à forte dependência de tarefas manuais e à reduzida integração dos sistemas de informação, em contraste com as boas práticas de digitalização descritas na literatura sobre Logística 4.0. A preparação manual da documentação aumenta a probabilidade de erros, originando retrabalho, atrasos e desperdício de recursos quando é necessária a reabertura de encomendas já embaladas.

Um dos principais constrangimentos nesta fase resulta da emissão manual das etiquetas de transporte nos portais das transportadoras, apesar da informação já estar disponível no PHC, originando duplicação de tarefas, aumento do tempo de processamento e erros de transcrição. Estas limitações contribuem para a formação de filas após o *picking*, tornando o embalamento, em determinados períodos, um *bottleneck* operacional, com impacto direto nos prazos de expedição.

3.2.3 Problemas no Catálogo de Produtos e Sistemas de Informação

O catálogo de produtos da ISMA apresenta incoerências estruturais, como designações não normalizadas, (por exemplo "Valvula","VALVULA","valv.") e ausência de critérios consistentes de classificação, contrariando as boas práticas de qualidade de dados referidas na literatura. Estas limitações dificultam a pesquisa no PHC, tornando a elaboração de propostas comerciais mais lenta e suscetível a erros.

A inexistência de uma estrutura hierárquica coerente compromete a análise agregada de vendas e de *stock*, limitando o apoio à decisão dos Departamentos Comercial e de Compras, e repercute-se nas operações logísticas ao dificultar a correta identificação dos artigos nas fases de receção, reposição e separação de pedidos.

Adicionalmente, a integração entre os sistemas de informação e as operações físicas no armazém é limitada, com forte dependência de documentos em papel, registos manuais e comunicações informais, o que compromete a fiabilidade e rastreabilidade da informação e dificulta a identificação das causas de erros ou discrepâncias de *stock*, constituindo um obstáculo à melhoria contínua dos processos.

3.3 Evidências Quantitativas dos Problemas

Com o objetivo de quantificar os problemas identificados nos processos logísticos, foram cronometradas 44 encomendas reais, abrangendo as etapas desde a separação do pedido até ao embalamento/expedição. Dado que o PHC não disponibiliza registos automáticos dos tempos de execução, as medições foram realizadas manualmente em contexto real, permitindo caracterizar a situação atual do processo (AS-IS). Complementarmente, foram analisados os dados de faturação de 2024, que, embora não incluam informação temporal, permitem caracterizar o número de artigos e quantidades por encomenda, reforçando a análise da complexidade operacional.

3.3.1 Evidências Quantitativas do Processo de *Picking*

A medição dos tempos de *picking* permitiu caracterizar quantitativamente o desempenho do processo de Separação de Pedidos e identificar evidências objetivas dos constrangimentos existentes.

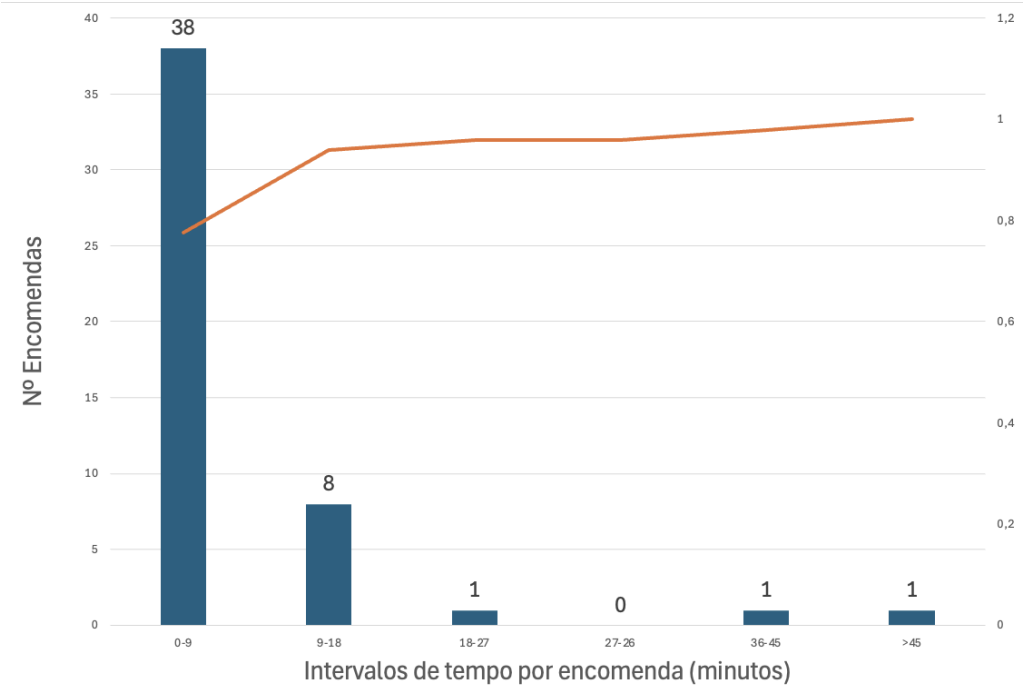


Figura 3.6: Histograma dos tempos de *picking*.

O histograma dos tempos de *picking*, apresentado na Figura 3.6 , evidencia uma distribuição assimétrica, com forte concentração de encomendas de curta duração e uma cauda longa à direita, associada a um número reduzido de encomendas significativamente mais demoradas. Cerca de 84% das encomendas apresentam tempos inferiores a 9 minutos, refletindo um bom desempenho para encomendas de menor complexidade.

A curva de percentagem acumulada indica que mais de 90% das encomendas são processadas em menos de 18 minutos, sendo os tempos mais elevados associados a casos pontuais. Apesar da sua baixa frequência, estas encomendas contribuem de forma significativa para o tempo total de *picking*. Estes casos estão geralmente associados a encomendas que envolvem operações adicionais de montagem.

Para além da amostra de 44 encomendas, foi analisada a faturação de 2024 com o objetivo de caracterizar o número médio de referências por encomenda e a proporção de encomendas acima e abaixo desse valor. A Figura 3.7 apresenta a distribuição do número de referências distintas por fatura, permitindo evidenciar a predominância de encomendas com um número reduzido de referências.

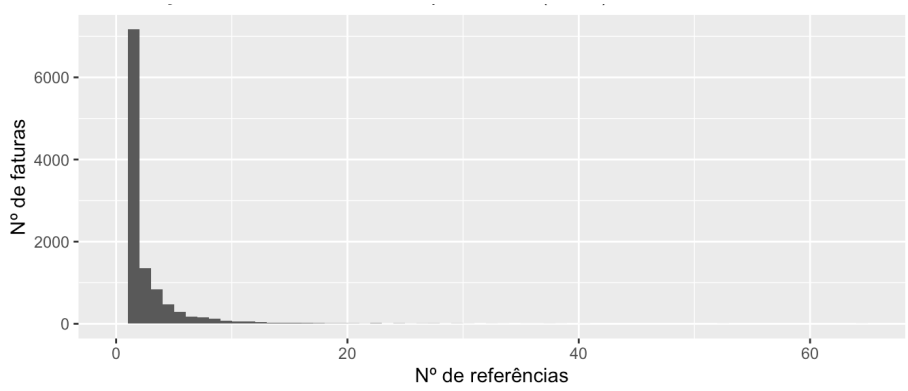


Figura 3.7: Nº de referências por fatura/encomenda.

A maioria das faturas apresenta entre uma e três referências distintas. Em contraste, observa-se a existência de uma cauda longa na distribuição, correspondente a um número reduzido de faturas com um elevado número de referências, atingindo-se um máximo de 65 referências distintas numa única fatura. Apesar de pouco frequentes, estas situações correspondem a encomendas de elevada complexidade operacional, uma vez que exigem a preparação e coordenação simultânea de um conjunto alargado de artigos diferentes.

A análise da distribuição do número de referências por encomenda permitiu calcular um valor médio de aproximadamente 3 referências distintas por encomenda. Considerando o total de 10 977 encomendas registadas em 2024, verificou-se que 65,3% das encomendas apresentam um número de referências inferior à média, enquanto 34,7% se situam acima desse valor.

Com o objetivo de analisar a relação entre a complexidade das encomendas e o tempo de *picking*, foi elaborado o diagrama de dispersão apresentado na Figura 3.8 , com base nas 44 encomendas analisadas. O eixo horizontal representa o número de referências por encomenda,

enquanto o eixo vertical corresponde ao tempo total de *picking* de cada encomenda.

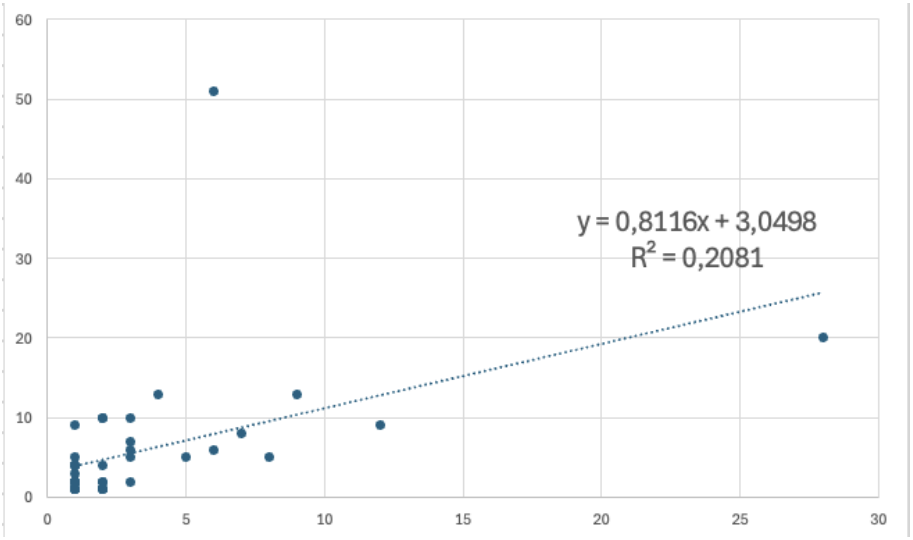


Figura 3.8: *Scatter Plot* do nº de referências e o tempo de *picking*.

Adicionalmente, foi ajustada aos dados uma curva de tendência linear, tendo sido calculado o respetivo coeficiente de determinação R^2, com o objetivo de avaliar a adequação de um modelo linear simples à descrição do comportamento observado. A inclinação positiva da reta indica que cada referência adicional contribui, para um aumento de 0,8 minutos no tempo de *picking*.

O valor de R^2 revela que cerca de 21% da variabilidade do tempo de *picking* é explicada pelo número de referências por encomenda, permanecendo aproximadamente 79% da variabilidade associada a outros fatores não contemplados no modelo. Tal resultado sugere que fatores como a localização física dos artigos no armazém e a necessidade de operações de montagem eventualemnte exercem um impacto significativo no desempenho do processo.

3.3.2 Evidências Quantitativas do Controlo de *Stock*

Apesar das limitações associadas ao sistema de informação utilizado pela empresa, a análise dos dados de *stock* extraídos do PHC permitiu identificar a ocorrência recorrente de discrepâncias entre as quantidades físicas existentes em armazém e as quantidades registadas no sistema. Em 2025, registaram-se 433 correções de *stock*, maioritariamente associadas a erros de inventário e a incongruências nos registos operacionais, mas também a falhas no registo de movimentos de entrada e saída, erros no processo de *picking*, devoluções não corretamente registadas e dependência excessiva da intervenção manual dos operadores. Estas situações evidenciam fragilidades no atual controlo de *stock* e uma limitada rastreabilidade dos movimentos internos no armazém.

3.3.3 Evidências Quantitativas do Embalamento e Expedição

Com o objetivo de avaliar o desempenho das etapas de embalamento e expedição, foi realizada uma análise quantitativa dos respetivos tempos, visando a identificação de descontinuidades

e ineficiências operacionais. A Figura 3.9 apresenta o gráfico de dispersão entre o tempo de embalamento e o tempo de expedição das encomendas analisadas.

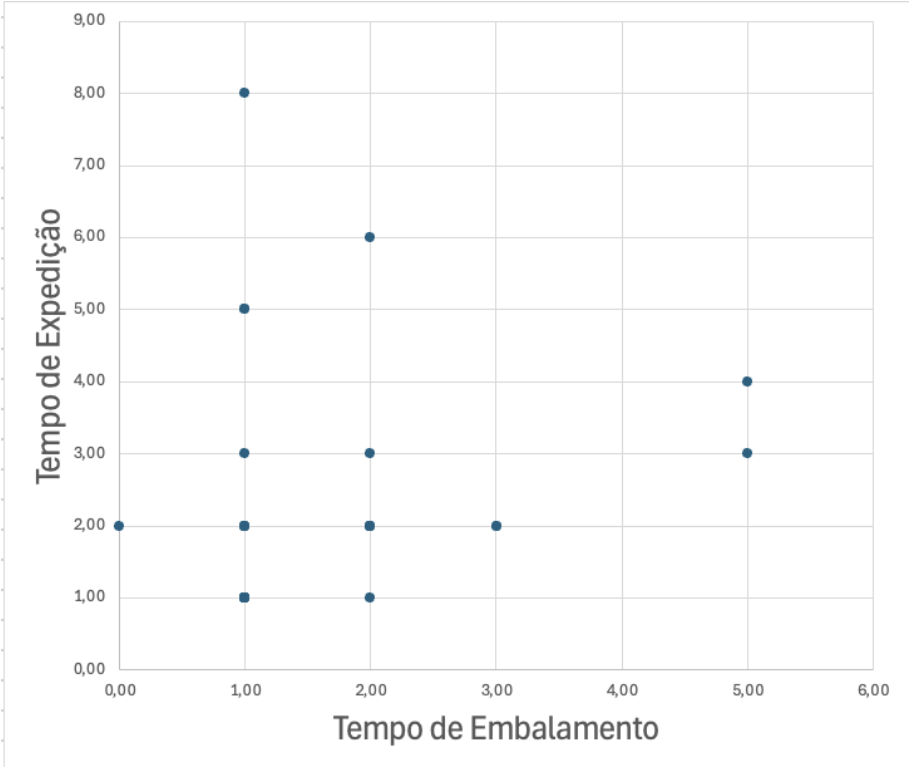


Figura 3.9: Relação entre o tempo de embalamento e o tempo de expedição.

Não se evidencia uma relação linear significativa entre o tempo de embalamento e o tempo de expedição, verificando-se que encomendas com tempos de embalamento semelhantes — ou mesmo reduzidos — podem apresentar tempos de expedição elevados. Este comportamento indica que a fase de expedição é fortemente condicionada por fatores externos ao processo físico de embalamento, nomeadamente tempos de espera, limitações operacionais e a necessidade de emissão manual de documentação e etiquetas de transporte nos portais das transportadoras, o que prolonga o tempo total do processo.

3.3.4 Evidências Quantitativas Relativas ao Catálogo de Produtos

A análise do catálogo de artigos registado no sistema PHC evidenciou a existência de **44 446 referências**, resultado da utilização prolongada do sistema, em funcionamento na empresa desde 2008. Uma parcela significativa destas referências corresponde a artigos obsoletos, já indisponíveis para compra ou venda. A inexistência de critérios formais e de mecanismos de validação no processo de criação de novos artigos contribuiu para a acumulação de referências desatualizadas e para uma estruturação pouco consistente da base de dados.

Esta fragmentação do catálogo compromete a eficiência da pesquisa de produtos, aumenta o tempo necessário para a elaboração de propostas comerciais e limita a fiabilidade das análises

agregadas de vendas e de *stock*, evidenciando a necessidade de uma normalização e racionalização do portefólio de artigos.

3.3.5 Síntese das Evidências Quantitativas

As evidências quantitativas apresentadas permitem confirmar, de forma objetiva, a existência de limitações relevantes nos processos logísticos da empresa. No processo de *picking*, verificou-se uma elevada variabilidade dos tempos e uma concentração do esforço operacional num conjunto reduzido de encomendas mais complexas, associadas a uma maior dispersão espacial dos artigos e necessidade de montagemn. Adicionalmente, a análise do controlo de *stock* evidenciou fragilidades na rastreabilidade e fiabilidade dos registos, enquanto as etapas de embalamento e expedição revelaram descontinuidades e falta de sincronização operacional.

Por fim, o catálogo de produtos apresentou-se excessivamente fragmentado e pouco estruturado, comprometendo a eficiência operacional e a qualidade da informação. Estes resultados fundamentam a necessidade de intervenções ao nível da normalização, reorganização dos processos e introdução de mecanismos de apoio tecnológico, desenvolvidas no capítulo seguinte.

Capítulo 4

Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia adotada no desenvolvimento do projeto, visando responder aos objetivos definidos no Capítulo 1.3 e aos problemas identificados no Capítulo 3.2. São descritas as abordagens utilizadas para a melhoria dos processos de *Picking* e de Expedição/Embalamento, incluindo o desenvolvimento de um simulador de rotas e a avaliação da implementação de um sistema de localização baseado em códigos de barras.

Paralelamente, aborda-se a normalização do catálogo de produtos, através da definição de famílias e subfamílias, visando a melhoria da qualidade da informação e o suporte às atividades operacionais e comerciais. Por fim, é apresentada uma proposta de reorganização do armazém, baseada na análise ABC, com o objetivo de otimizar a disposição dos artigos e reduzir os tempos de preparação das encomendas.

4.1 Desenvolvimento do Simulador de Rotas de *Picking*

O desenvolvimento do simulador de rotas de *picking* resulta dos problemas identificados, nomeadamente a ausência de planeamento estruturado de percursos, a variabilidade dos trajetos dos operadores e o impacto destes fatores no aumento do tempo médio de preparação das encomendas. Atendendo à relevância da distância percorrida como principal componente do tempo de *picking* em armazéns manuais, como evidenciado na revisão de literatura, foi desenvolvido um simulador que gera automaticamente sequências de recolha otimizadas a partir de encomendas reais, com base na planta do armazém da ISMA, sendo as subseções seguintes dedicadas à descrição do modelo, dos métodos de cálculo e da sua validação.

4.1.1 Estrutura do Modelo

O simulador de rotas foi desenvolvido integralmente em *Microsoft Excel*, recorrendo a código *VBA* para automatizar a criação da interface e o processamento dos percursos. A estrutura do modelo foi concebida de forma modular, distinguindo claramente entre folhas de dados, responsáveis pelo armazenamento da informação necessária ao cálculo das rotas, e folhas de interface e

registo, destinadas à interação com o utilizador e à análise dos resultados. O modelo assenta em três componentes principais:

- **Dados – Base de dados**: Contem, para cada referência existente, a respetiva localização física no armazém, as coordenadas espaciais associadas (X, Y, Z) e o peso unitário do artigo. Conforme evidenciado na Figura 4.1 , esta folha reúne informação do sistema PHC e dados espaciais relevantes para a simulação dos percursos.

ref	Location	X	Y	Z	pesoL
70347214042	AA0101	3	8	1	21,30
90459271010	AA0101	3	8	1	0,25
90459300010	AA0101	3	8	1	0,00
70347214049	AA0101	3	8	1	23,10
70347214033	AA0102	3	8	2	15,90
70347214041	AA0102	3	8	2	17,00
70347214015	AA0102	3	8	2	9,10
70347214025	AA0102	3	8	2	13,10
70347214020	AA0102	3	8	2	12,60
70347204715	AA0103	3	8	3	1,50
70347204720	AA0103	3	8	3	1,65
70347204725	AA0103	3	8	3	2,30
70347204732	AA0103	3	8	3	3,05
70347204740	AA0103	3	8	3	3,45

Figura 4.1: Estrutura da folha Excel utilizada na simulação.

- **Utilizador – Interface de utilizador**: Corresponde à folha principal de interação com o simulador. Nesta folha, o utilizador introduz a encomenda a analisar, indicando as referências e as respetivas quantidades. A interface é gerada automaticamente através de macros em *VBA*, garantindo uma apresentação normalizada e intuitiva. Os resultados apresentados incluem a distância total percorrida antes e após a otimização, o número de descargas necessárias na zona de expedição tendo em conta o peso dos artigos, o peso total da encomenda, bem como uma tabela com a sequência ordenada das localizações a visitar, correspondente à ordem otimizada de recolha dos artigos. A folha, representada na Figura 4.2 , inclui ainda botões de ação que permitem executar a simulação e reiniciar o modelo para uma nova análise.

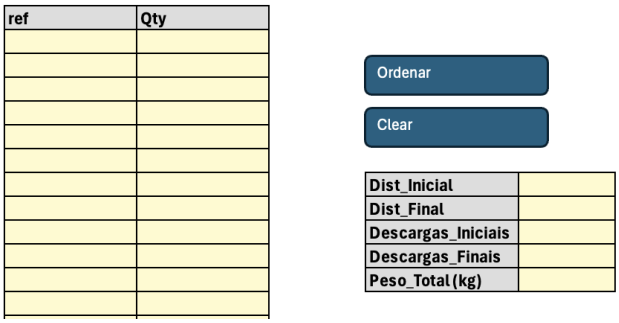


Figura 4.2: Interface do simulador.

- **LOG – Registo da simulação**: Esta folha é gerada automaticamente durante a execução do simulador e regista os passos do percurso calculado, incluindo o tipo de deslocação, a localização de destino, as coordenadas de origem e chegada, bem como a distância incremental e acumulada. Trata-se de uma folha auxiliar destinada à análise e validação do modelo, sendo eliminada no final da execução.

A ligação entre a lista de referências introduzida pelo utilizador e a base de dados é assegurada por funções auxiliares em *VBA*, responsáveis por obter automaticamente as coordenadas e o peso unitário de cada artigo, permitindo ao simulador transformar a lista de artigos numa sequência de recolha coerente com a realidade física do armazém.

4.1.2 Levantamento e Tratamento de Dados

O desenvolvimento do simulador exigiu o levantamento dos dados do armazém e dos artigos, tendo sido necessária a conversão da planta existente num modelo matemático para permitir o cálculo de distâncias e a simulação de percursos.

A planta do armazém, apresentada no Capítulo 3.1.1.2 , desenvolvida em *Microsoft Excel*, foi utilizada para definir um sistema de coordenadas tridimensional (X, Y, Z), no qual os eixos X e Y representam os deslocamentos horizontais e o eixo Z o nível vertical de armazenamento. Considerando que o armazém apresenta uma configuração de fluxo em U, a zona de Embalamento/Expedição foi definida como a origem do referencial (X=0,Y=0,Z=0), assegurando uma representação coerente dos percursos de *picking* e a consistência entre o simulador e a realidade operacional.

Cada localização física do armazém, identificada pela designação interna da empresa (por exemplo, AA0101), foi associada a coordenadas únicas com base na sua posição na planta. Em paralelo, foram integrados dados operacionais extraídos do sistema PHC, incluindo referências, localizações e peso unitário dos artigos, os quais foram consolidados numa base de dados estruturada que suporta o cálculo de distâncias, a aplicação de restrições operacionais e a simulação de percursos de *picking*, permitindo gerar sequências de recolha mais eficientes e organizadas.

4.1.3 Cálculo das Distâncias, Sequenciação e Restrições Operacionais

O simulador baseia-se no cálculo das distâncias entre localizações e na definição da sequência de recolha. Para representar os percursos em corredores ortogonais, foi adotada a métrica de distância Manhattan, conforme a literatura, sendo a distância entre dois pontos dada por:

$$d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|.$$

Para ordenar as recolhas de forma eficiente, foi adotada a heurística do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbour*), amplamente utilizada em problemas de cálculo de trajetos pela sua simplicidade e bom desempenho operacional Liu et al. (2023). O algoritmo inicia o percurso na zona

de expedição e seleciona iterativamente o artigo mais próximo da posição atual, até que todas as referências sejam incluídas na rota.

O algoritmo de sequenciação incorpora, no entanto, restrições operacionais específicas do armazém da ISMA, assegurando que a solução proposta é compatível com a realidade física e com os equipamentos disponíveis. Em particular, o simulador determina automaticamente o meio de recolha a utilizar em cada ponto, com base na localização e nas características do artigo.

Para artigos armazenados em paletes completas ou cujo peso ultrapassa o limite definido para manuseamento manual, o modelo assinala a necessidade de utilização de empilhadora. De forma semelhante, quando a localização se encontra acima de um limiar definido no eixo Z, o simulador considera a utilização do carro elétrico. Em ambos os casos, a folha LOG regista os movimentos adicionais associados ao recurso do equipamento, incluindo a deslocação para o ir buscar, o posicionamento no ponto de recolha e o seu retorno à zona de permanência quando deixa de ser necessário.

O simulador incorpora uma restrição de capacidade associada à mesa de *picking*, calculando o peso acumulado dos artigos ao longo do percurso e impondo uma deslocação intermédia à zona de Embalamento/Expedição sempre que a capacidade máxima definida (600 kg) é excedida. Adicionalmente, as recolhas de múltiplas referências na mesma localização são automaticamente agrupadas, evitando deslocações redundantes. Em conjunto, a utilização da distância *Manhattan*, da heurística de sequenciação e das restrições operacionais permite gerar percursos de *picking* realistas, eficientes e ajustados às características do armazém da ISMA.

4.1.4 Testes e Validação do Simulador

A validação do simulador foi efetuada através da comparação entre os percursos gerados pelo modelo e os efetivamente realizados pelos operadores em contexto real, com base na observação direta do *picking* de 44 encomendas representativas da variabilidade operacional da ISMA. Durante esta fase foram registados tempos, percursos, equipamentos utilizados e decisões dos operadores, permitindo caracterizar o comportamento real do processo e validar as hipóteses e restrições adotadas no desenvolvimento do simulador.

Da análise ao processo real de *picking* e à validação do simulador, destacam-se os seguintes aspetos:

- Observou-se que o *picking* é maioritariamente realizado de forma sequencial, com base em listas de artigos sem ordenação otimizada, sendo o agrupamento por localização aplicado apenas em encomendas de maior dimensão e de forma empírica, dependente da experiência dos operadores. Adicionalmente, a escolha dos equipamentos de apoio é, na maioria dos casos, reativa, baseada no conhecimento prévio das localizações e características dos artigos, devido à ausência de uma avaliação estruturada das necessidades no início da recolha.
- O critério associado ao uso do carro elétrico dependia essencialmente do nível vertical da localização. Foi assim possível validar o limiar definido no modelo, considerando-se que

localizações com $Z \geq 3$ requerem a utilização do carro elétrico. Este ajuste permitiu alinhar o comportamento do simulador com a prática operacional observada no armazém;

- Durante a fase de validação, identificaram-se encomendas que incluem operações de montagem. Nestes casos, o processo real difere do fluxo padrão de *picking*, uma vez que os artigos destinados à montagem são recolhidos inicialmente e transportados para a zona de montagem, onde são preparados antes de seguirem para a zona de Expedição/Embalamento. Para refletir corretamente esta realidade, foi introduzida no simulador a zona de montagem como uma etapa intermédia obrigatória sempre que a encomenda inclui este tipo de operação.;

Os ajustes efetuados aumentaram o realismo do simulador, garantindo que os percursos gerados refletem não apenas a otimização geométrica, mas também as práticas e limitações reais dos operadores, tornando-o uma ferramenta válida para a comparação entre percursos reais e otimizados no armazém da ISMA.

4.1.5 Análise de Soluções Comerciais Existentes e Justificação do Desenvolvimento do Simulador

A literatura identifica diversas soluções comerciais de apoio às operações de *picking*, incluindo sistemas WMS como o SAP EWM ou o Oracle WMS, bem como soluções de *picking* assistido, referidas no Capítulo 2.2.4. Contudo, a sua adoção implica custos elevados, forte dependência da qualidade dos dados e esforços significativos de integração com sistemas existentes. No contexto da ISMA, caracterizado por fragilidades ao nível do catálogo de produtos, da fiabilidade dos registos de *stock* e por uma operação predominantemente manual e de elevada variabilidade, estas exigências tornam a adoção imediata de uma solução comercial menos adequada numa fase inicial de melhoria dos processos.

Tabela 4.1: Matriz de decisão para a escolha da solução de otimização do *picking*

Critério	**Soluções comerciais**	**Simulador Excel/VBA**
1. Custo	Alto	Baixo
2. Integração com PHC	Complexa	Simples
3. Tempo de implementação	Meses	Semanas
4. Adequação a protótipo	Fraca	Muito boa

Com base nos requisitos operacionais e nos objetivos do projeto, a matriz de decisão da Tabela 4.1 indica que o desenvolvimento de um simulador de rotas de *picking* em *Microsoft Excel*, com recurso a *VBA*, é a solução mais adequada ao contexto da ISMA, por permitir uma implementação rápida, de baixo custo e elevada flexibilidade, funcionando como ferramenta de apoio à decisão e base para uma futura evolução para soluções comerciais mais avançadas.

4.2 Reengenharia dos Processos Logísticos e Leitura por Código de Barras

Esta secção, desenvolvida em resposta às limitações identificadas no Capítulo 3.2 e em alinhamento com os objetivos definidos no Capítulo 1.3, descreve a reengenharia dos processos logísticos da ISMA, baseada na introdução da leitura de códigos de barras e na digitalização da informação no armazém, com recurso a um Terminal Portátil de Dados (PDT) integrado com o PHC. As subseções seguintes apresentam a tecnologia adotada e as alterações introduzidas nos principais processos logísticos.

4.2.1 Justificação da Tecnologia de Identificação Utilizada

A escolha da tecnologia de identificação para a reengenharia dos processos logísticos considerou o contexto operacional da ISMA, a maturidade dos processos e os constrangimentos já identificados. A literatura identifica várias soluções de rastreabilidade em armazém, como códigos de barras, códigos bidimensionais e RFID, que diferem sobretudo em termos de custo, nível de automatização e complexidade de implementação.

Os sistemas RFID, apesar da leitura automática de múltiplos artigos, implicam investimentos elevados e exigem um nível de normalização ainda em consolidação na ISMA. Por sua vez, os códigos bidimensionais não oferecem vantagens operacionais relevantes, uma vez que a informação necessária à gestão logística é obtida diretamente no sistema PHC após a leitura do código.

Neste contexto, os códigos de barras unidimensionais mostraram-se a solução mais adequada, combinando baixo custo, robustez e simplicidade de implementação, assegurando a validação dos artigos e o registo das operações logísticas. A existência prévia de etiquetas na maioria dos artigos permite uma adoção progressiva, com impacto reduzido nos processos e alinhada com as boas práticas para pequenas e médias empresas.

4.2.2 Visão Geral das Alterações Introduzidas

Com base no enquadramento apresentado, a leitura por código de barras foi definida como a abordagem mais adequada aos objetivos do projeto, recorrendo a um Terminal Portátil de Dados (PDT) para permitir a leitura dos códigos no local de execução e o registo imediato das operações no sistema PHC. Em resposta aos constrangimentos identificados no Capítulo 3 , a metodologia adotada implicou a reformulação das operações de armazém e a conceção de interfaces funcionais a implementar no PDT, destinadas a suportar o novo fluxo operacional e a seleção das operações pelos operadores, nomeadamente :

- Receção de Mercadoria;
- Reposição;
- Separação de Pedidos e Montagem;
- Embalamento e Expedição;
- Inventário.

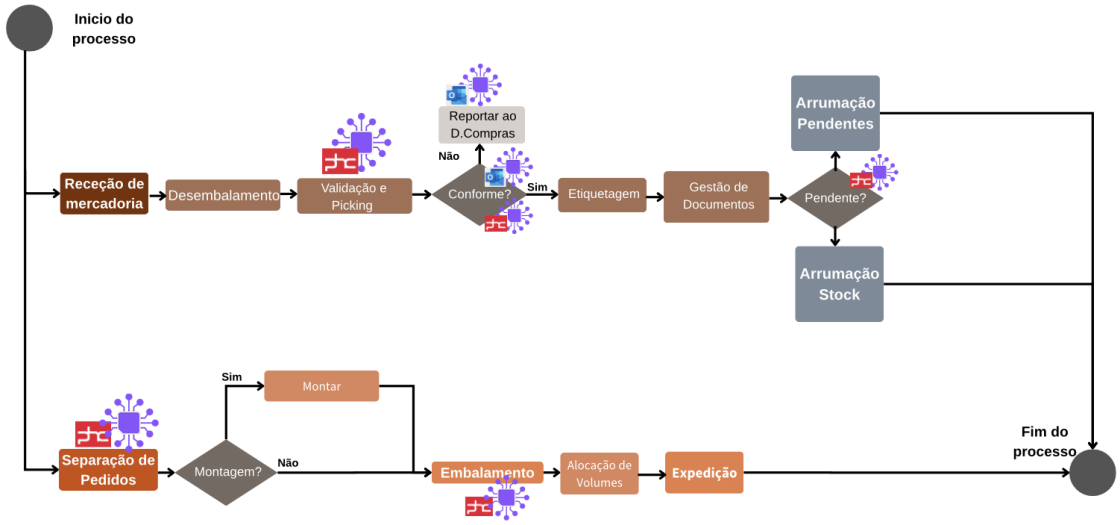


Figura 4.3: Novo fluxograma dos processos do armazém.

A Figura 4.3 sintetiza o novo fluxo operacional, evidenciando a introdução de pontos de validação por leitura de código de barras e a digitalização do registo das operações através do PDT. Esta reformulação dos processos logísticos encontra-se alinhada com os objetivos definidos no Capítulo 1 , ao contribuir para a redução de erros de identificação e localização de artigos, reforçar a fiabilidade da informação de *stock* e diminuir tarefas manuais e tempos de execução, noemadamente de *picking*, embalamento e expedição. Neste enquadramento, as subsecções seguintes detalham as alterações implementadas em cada processo logístico, desde a receção de mercadoria até às operações de inventário.

4.2.2.1 Processo de Receção

O processo de entrada de artigos no armazém inicia-se, tal como anteriormente, com a Receção da Mercadoria e o respetivo desembalamento. Contudo, ao contrário do processo atualmente em vigor, a validação da receção deixa de ser efetuada com base em documentação em papel e passa a ser realizada diretamente através do PDT, recorrendo às interfaces especificamente desenvolvidas para a operação de Receção de Mercadoria, apresentadas na Figura 4.4 .

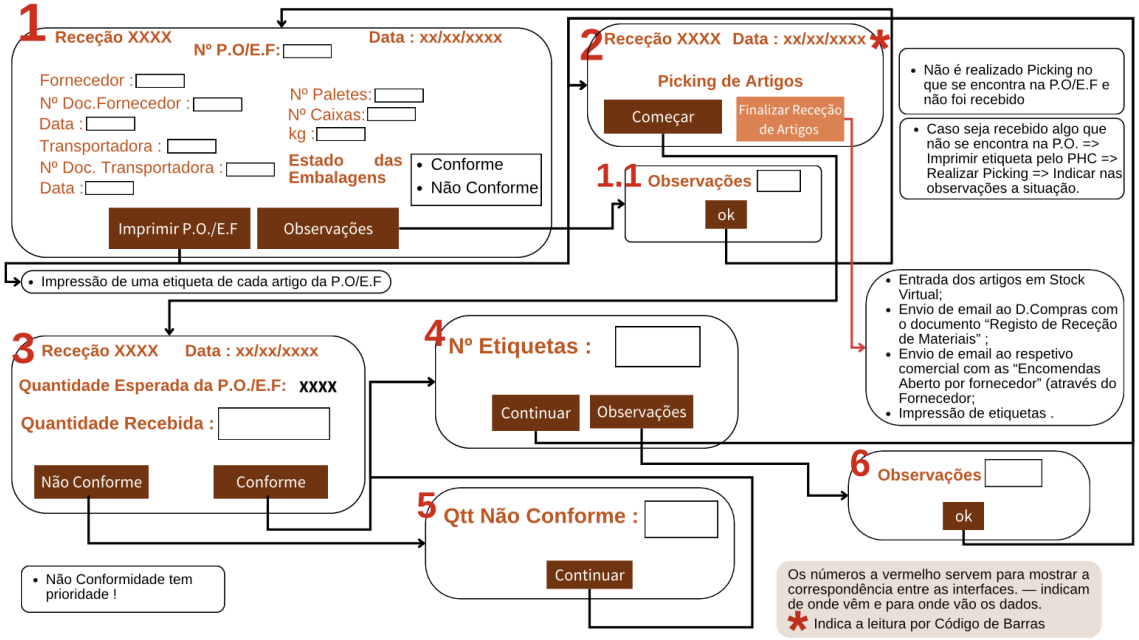


Figura 4.4: Interfaces desenvolvidas para o processo de Receção.

Desde o início do processo, as interfaces do PDT foram concebidas para que a informação introduzida pelo operador em cada interface alimente automaticamente o respetivo bloco do documento digital Registo de Receção de Materiais (Figura 4.5). Este documento é construído de forma progressiva ao longo da receção, passando a refletir, em tempo quase real, as operações executadas no terreno. Para além do registo operacional, assume também uma função de controlo da qualidade, permitindo documentar o estado dos artigos recebidos e identificar eventuais discrepâncias ou não conformidades.

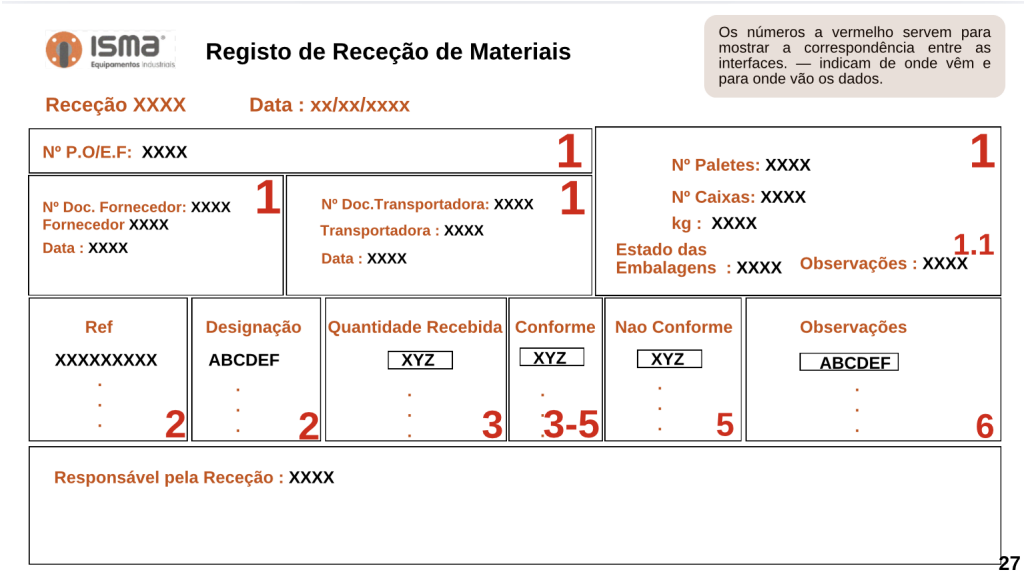


Figura 4.5: Registo de Receção de Materiais.

Numa primeira fase, o operador introduz no dispositivo os dados essenciais da receção, incluindo o número da Encomenda ao Fornecedor/*Purchase Order*, o fornecedor, a transportadora e a informação documental associada, procedendo igualmente à impressão de uma etiqueta para cada artigo da encomenda.

Após a impressão das etiquetas, o operador lê o código de barras de cada uma através da câmara do dispositivo móvel, sendo automaticamente apresentadas as quantidades esperadas no sistema. Para cada artigo, o operador regista a quantidade recebida e classifica o estado do material como Conforme ou Não Conforme, ficando esta informação refletida de imediato no documento de Registo de Receção de Materiais (Figura 4.5).

Cocluída a leitura e validação dos artigos, o sistema regista os materiais em *stock* virtual, um novo campo que reflete as quantidades fisicamente disponíveis no armazém antes da validação dos respetivos custos. A passagem para *stock* físico ocorre após validação pelo Departamento de Compras, sendo geradas automaticamente as comunicações necessárias, incluindo o envio do Registo de Receção de Materiais e a notificação ao Departamento Comercial sobre encomendas em aberto associadas aos artigos recebidos.

Por fim, são automaticamente impressas as etiquetas de identificação a aplicar nos artigos, que acompanham os materiais nas etapas seguintes do processo logístico, permitindo a sua identificação por leitura de código de barras durante a Reposição e a Separação de Pedidos.

4.2.2.2 Processo de Reposição (*Put-Away*)

Após a receção e validação dos materiais, procede-se à Reposição (*Put-away*) dos artigos, processo reformulado para ser suportado pelo PDT e pela leitura de códigos de barras, conforme ilustrado na Figura 4.6.

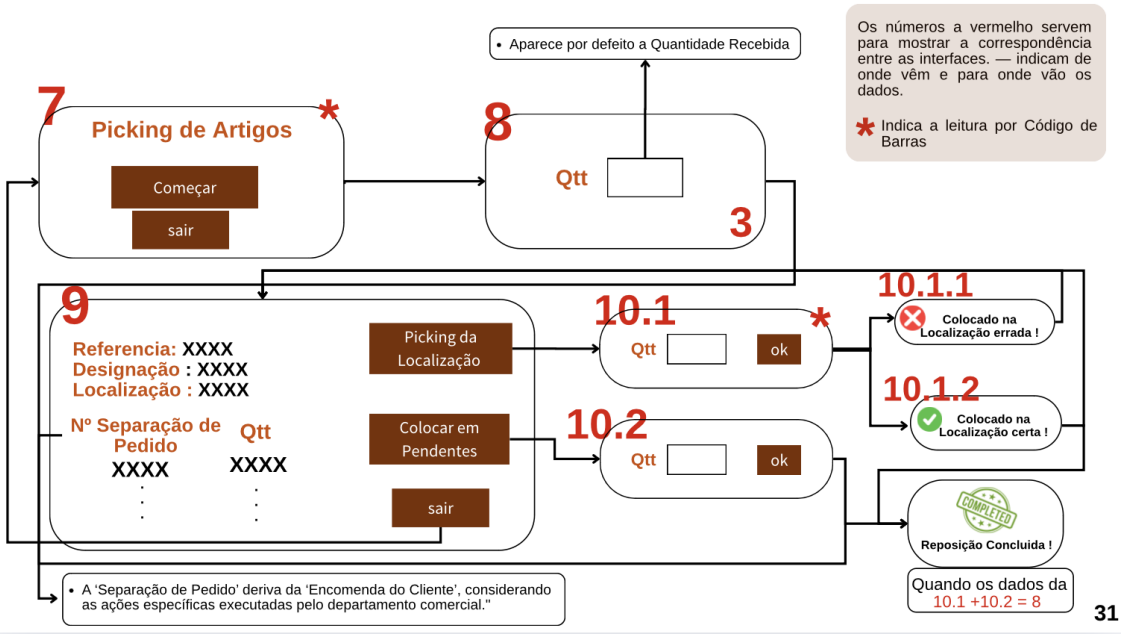


Figura 4.6: Interface desenvolvida para o processo de Reposição.

O processo inicia-se com a identificação, no PDT, dos artigos que ainda não se encontram na respetiva localização. A leitura do código de barras permite ao sistema determinar automaticamente o encaminhamento, direcionando os artigos com Separações de Pedido em aberto para a zona de Pendentes e os restantes para a localização atribuída, dando início ao processo de reposição no armazém.

Na colocação do artigo na prateleira, o operador procede à leitura do código de barras do artigo e da localização física. Atualmente, as localizações são identificadas pelo código do próprio artigo, sendo proposta a criação de etiquetas específicas com códigos de barras próprios para cada localização. Após a configuração do PDT e do sistema, a leitura conjunta do artigo e da localização permitirá validar automaticamente a reposição, sinalizando erros sempre que não exista correspondência e concluindo a operação apenas quando a localização for correta.

Após a validação da quantidade e da localização, a reposição é registada como concluída no sistema, ficando o artigo corretamente associado à sua posição física. Este procedimento permite controlar e validar digitalmente a reposição, reduzindo significativamente os erros de localização identificados no Capítulo 3 .

4.2.2.3 Processo de Separação de Pedidos (Picking)

Após a reformulação dos processos anteriores, procedeu-se à reengenharia da Separação de Pedidos (*picking*), identificada no Capítulo 3.2 como a atividade mais crítica e mais consumidora de tempo no armazém da ISMA. A partir da Encomenda de Cliente criada pelo Departamento Comercial, é gerada a respetiva Separação de Pedido, que fica disponível no PDT, permitindo ao operador selecionar a separação a executar através das interfaces apresentadas na Figura 4.7.

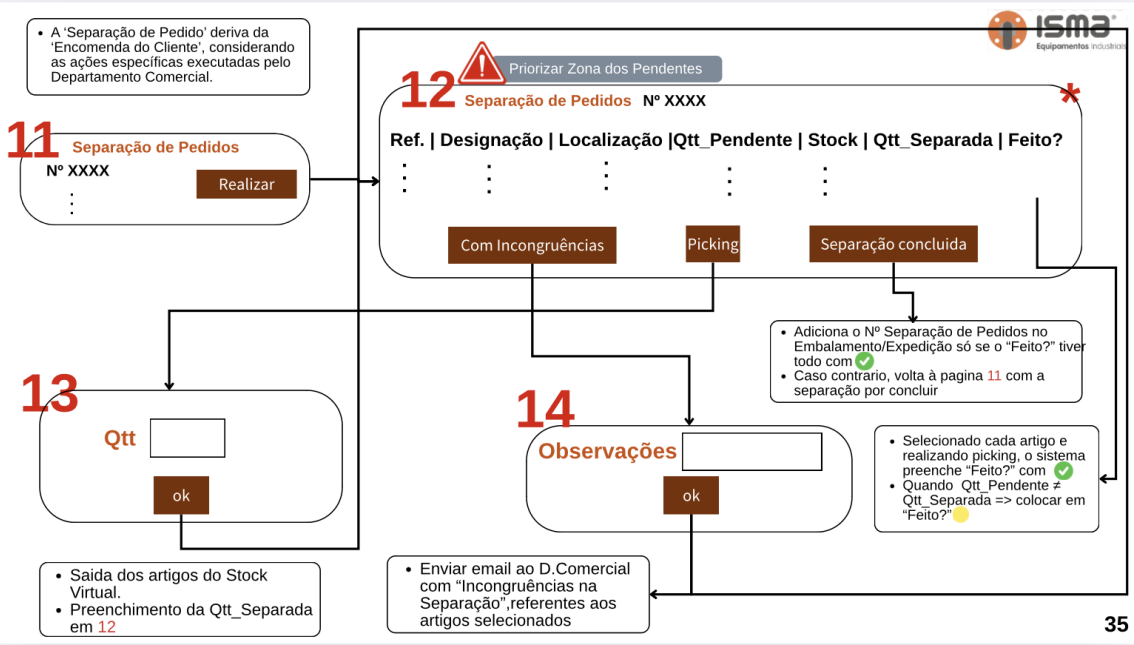


Figura 4.7: Interface desenvolvida para o processo de Separação de Pedidos.

O operador seleciona no PDT a separação a executar, sendo priorizada a recolha de artigos da zona de Pendentes quando aplicável. A lista de artigos e quantidades é apresentada e validada por leitura de código de barras, ficando a saída refletida no *stock* virtual após o registo da quantidade separada. Os artigos seguem para montagem ou Embalamento conforme necessário, sendo automaticamente marcados como "Feito" quando concluídos. Eventuais incongruências são registadas e dão origem ao documento digital de Incongruências na Separação (Figura 4.8), facilitando a comunicação entre departamentos.

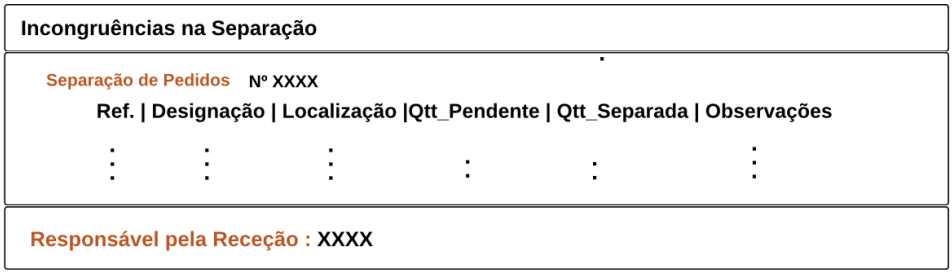


Figura 4.8: Incongruências na Separação.

A separação é concluída apenas quando todos os artigos estão marcados como "Feito", permanecendo em aberto para retoma caso contrário. Só após a sua conclusão a separação fica disponível para as etapas de Embalamento e Expedição.

4.2.2.4 Processo de Embalamento e Expedição

Relativamente ao processo de Embalamento e Expedição, este inicia-se com a validação da separação e o embalamento dos artigos. Seguidamente, o operador regista o número de volumes e paletes, concluindo a preparação da encomenda através da interface apresentada na Figura 4.9.

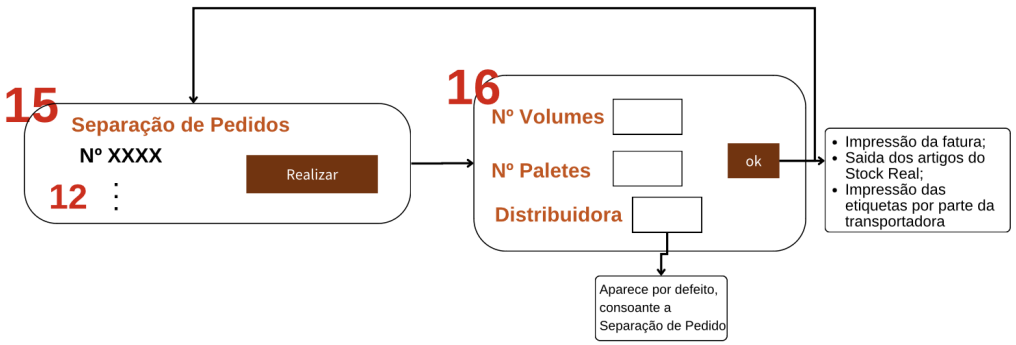


Figura 4.9: Interface desenvolvida para o processo de Embalamento e Expedição.

Em resposta às limitações identificadas, propõe-se a automatização da emissão das etiquetas de transporte, eliminando tarefas manuais e duplicação de registos. Com base na informação do PDT e na integração com as transportadoras, as etiquetas e a fatura são impressas automaticamente, sendo os volumes encaminhados para a zona de expedição correspondente.

4.2.2.5 Processo de Inventário

Embora o inventário não seja um objetivo autónomo do projeto, a sua digitalização reforça a fiabilidade da informação de *stock*, contribuindo indiretamente para a redução dos tempos operacionais. Face às limitações do processo atual descrito no Capítulo 3, a proposta mantém a lógica de contagens periódicas, passando a executar o inventário diretamente no PDT, conforme ilustrado na Figura 4.10.

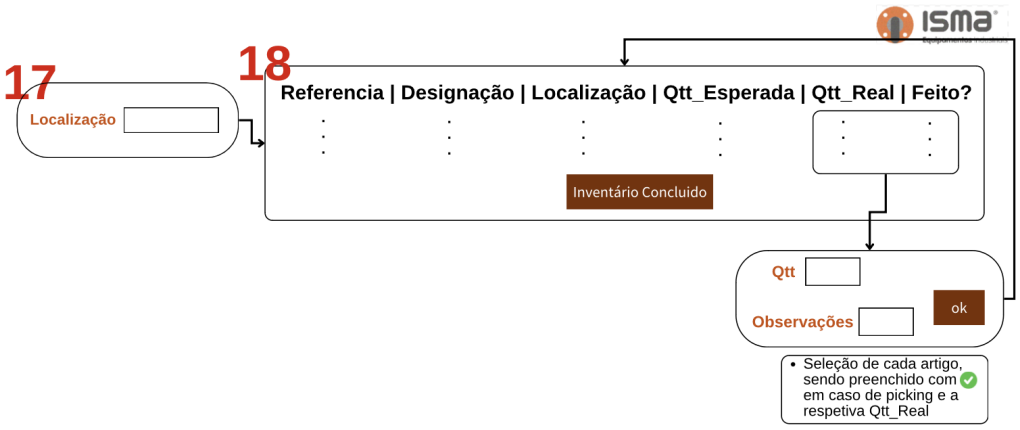


Figura 4.10: Interface desenvolvida para o processo de Inventário.

De seguida, o operador lê os códigos de barras dos artigos da localização, sendo apresentados os dados e a quantidade esperada, introduzindo a quantidade real e eventuais observações. Concluída a contagem, é gerado o Registo de Verificação de Inventário (Figura 4.11), com a identificação da localização, artigos verificados, quantidades, observações, data e responsável.

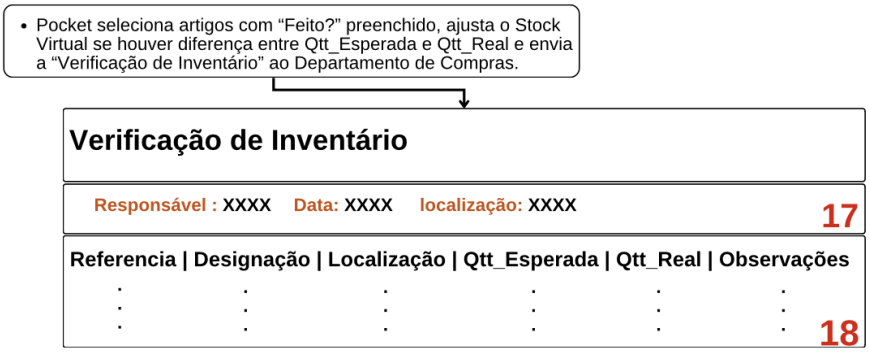


Figura 4.11: Verificação de Inventário.

Este documento é automaticamente enviado ao Departamento de Compras para validação e arquivo, assegurando a rastreabilidade do processo. A reengenharia do inventário suportada por códigos de barras permite eliminar papel e ficheiros Excel, reduzir o tempo de execução e aumentar a fiabilidade da informação de *stock*.

4.2.3 Suporte Tecnológico: Terminal Portátil de Dados (PDT) e Leitura por Código de Barras

Relativamente ao suporte tecnológico, e conforme já referido, cada artigo dispõe atualmente de uma etiqueta com o respetivo código de barras. Assim, a implementação da solução proposta requer :

- Aquisição do equipamento PDT;
- Desenvolvimento do software, com base nas interfaces desenvolvidas;

Estas interfaces serão disponibilizadas no PDT e integradas com o sistema de informação da empresa, o PHC, permitindo a execução e o registo das operações logísticas de forma digital e integrada.

Importa referir que, conforme discutido no Capítulo 3, apesar de o código de barras corresponder à referência do artigo e de existirem algumas inconsistências na sua atribuição, optou-se por utilizar os códigos de barras já existentes, evitando alterações estruturais ao sistema e garantindo a viabilidade da solução proposta.

4.3 Estruturação de Famílias de Produtos

A estruturação de famílias de produtos é fundamental para melhorar a qualidade da informação e apoiar os processos logísticos e comerciais da ISMA. Conforme referido na literatura e evidenciado no Capítulo 3, a ausência de critérios normalizados dificultava a pesquisa no PHC e limitava a análise de vendas e de *stock*. Em alinhamento com os objetivos do projeto, esta secção apresenta a metodologia adotada para a reorganização das famílias e subfamílias de produtos e a sua integração no sistema PHC.

4.3.1 Identificação das Famílias Existentes e Principais Problemas

Conforme referido no Capítulo 3, o sistema PHC continha 44 446 referências, muitas em desuso. Para apoiar a normalização e limpeza dos dados, foi realizada uma análise exploratória da base de dados de artigos, recorrendo ao RStudio e à linguagem R, que incluiu:

- Conversão de campos textuais para formatos numéricos sempre que aplicável;
- Limpeza e validação do campo de *stock*;
- Uniformização das datas de introdução e de última movimentação das referências.

Com base na informação tratada, foi possível identificar referências potencialmente obsoletas, em linha com as boas práticas de *Data Preprocessing* discutidas no Capítulo 2.3.3.1. Após discussão com os Departamentos Comercial, Compras e Financeiro, definiu-se como critério de obsolescência a verificação simultânea de:

- Ano de introdução igual a 1900
- Data da última movimentação igual a 1900;
- *Stock* igual a zero.

A utilização do valor "1900" resulta do funcionamento do PHC, que atribui este ano por defeito às referências migradas na implementação inicial do sistema, em 2008, sem movimentações posteriores. A aplicação destes critérios permitiu excluir referências sem relevância operacional, reduzindo o universo de análise para **29 832 referências**, das quais muitas não puderam ser eliminadas por requisitos contabilísticos.

A definição de famílias baseou-se em campos existentes no PHC, utilizados de forma pouco estruturada. Após a filtragem da base de dados para 29 832 artigos, identificaram-se numerosas famílias (221) e subfamílias com elevada redundância e inconsistência (por exemplo, "VALVULA", "VALV." e "VÁLVULAS"), resultantes de erros ortográficos e abreviações não normalizadas. Esta fragmentação dificultava a pesquisa no PHC e comprometia as análises agregadas de vendas e *stock*, evidenciando a necessidade de reestruturar o sistema de classificação.

4.3.2 Definição das Novas Famílias e Subfamílias

A definição de uma nova estrutura de famílias e subfamílias seguiu três diretrizes principais:

- Compreensão técnica do portefólio de produtos, através da análise do catálogo interno e da identificação dos artigos com maior volume de vendas;
- Envolvimento dos departamentos Comercial e de Compras, assegurando que a estrutura proposta refletia as necessidades reais de pesquisa, proposta e negociação com clientes;
- Análise comparativa com empresas concorrentes do mesmo sector, analisando catálogos comerciais e estruturas de classificação amplamente utilizadas na indústria.

A análise revelou que a maioria dos concorrentes utiliza estruturas hierárquicas simples, com dois ou três níveis, equilibrando detalhe técnico e facilidade de utilização. Assim, definiu-se uma nova estrutura de produtos para a ISMA composta por três níveis hierárquicos: **Família**, **Subfamília 1** e **Subfamília 2**. Esta definição foi suportada pela análise da faturação de 2023 e 2024, permitindo priorizar os grupos com maior peso comercial. Como resultado, foram definidas **20 famílias** consolidadas, mutuamente exclusivas e representativas de todo o portefólio da empresa, conforme ilustrado na Figura 4.12.

FAMILIAS
VALVULA
ACESSORIOS
ELETROVALVULA
ATUADOR
FILTRO
LIG.FLEXIVEL
VEDACAO
ALIMENTAR
PURGADOR
CONTROLO
UNIAO ROTATIVA
VISOR
ISOLAM.TERMICO
INCENDIO
TUBO/CHAPA/PERFIL
FITA/CINTA/TAPETE
PERMUT./SEPARADOR
MOTOR/BOMBA/AGIT.
SERVIÇOS
OUTROS

Figura 4.12: 20 famílias de produtos.

Após a definição das famílias, estabeleceram-se regras para a criação das subfamílias, sendo a Subfamília 1 associada ao funcionamento ou tipo técnico principal do artigo e a Subfamília 2 às características relevantes para a decisão de compra, como tipo de ligação, material de fabrico ou marca. Adicionalmente, foi definida uma norma de escrita baseada na utilização de letras maiúsculas e em designações técnicas coerentes com os fabricantes.

4.3.3 Alocação dos Artigos às Famílias e Subfamílias

Com as 20 famílias principais definidas, procedeu-se à análise da faturação de 2023 e 2024 para hierarquizá-las por peso comercial, conforme ilustrado na Figura 4.12, iniciando-se a alocação pela família de maior relevância, nomeadamente "VÁLVULAS"e "ACESSÓRIOS". Em conjunto com os Departamentos Comercial e de Compras, foram definidas as respetivas Subfamílias 1 e 2 (Anexo D), dando início à alocação efetiva dos artigos. Esta fase revelou-se a mais exigente e demorada do processo, devido à ausência de nomenclatura normalizada e de critérios consistentes na criação das referências ao longo do tempo. A metodologia seguida consistiu em:

- Definir previamente as subfamílias de cada família;
- Alocar, de forma sistemática, os 29 832 artigos às respetivas categorias de Família, Subfamília 1 e Subfamília 2.

Deste modo, os artigos foram sendo alocados progressivamente por famílias, daquelas com maior número de movimentos para as com menor número. Para apoiar este processo, recorreu-se principalmente ao Excel e ao RStudio, utilizando filtros e pesquisa por palavras-chave nas designações dos artigos (por exemplo, “ELET” para identificar eletroválvulas).

4.3.4 Integração da Nova Estrutura no PHC

Após a conclusão da categorização dos artigos, procedeu-se à preparação da sua integração no PHC, com o objetivo de avaliar o impacto da nova estrutura na pesquisa e gestão do catálogo. Para este efeito, foi criado um ficheiro Excel contendo as seguintes colunas: Referência; Designação; Família; Subfamília 1; Subfamília 2.

Com base na informação estruturada apresentada neste Excel, a integração no PHC limita-se à importação dos dados, assegurando a correta associação aos campos das referências existentes. Este passo constitui um ganho significativo na qualidade dos dados mestre, permitindo uma pesquisa mais rápida e eficiente, bem como análises comerciais e logísticas mais robustas.

4.4 Analise ABC e Reorganização do Armazém

A Análise ABC desempenha um papel fundamental na gestão logística e na organização de armazéns, sendo amplamente referida na literatura como um instrumento de apoio à tomada de decisão ao nível do *layout* e da alocação de artigos. No presente trabalho, esta abordagem foi aplicada com base em dados reais de faturação, servindo de suporte à proposta de reorganização do armazém da ISMA, com vista à redução dos tempos de *picking*.

4.4.1 Fontes de Dados e Preparação da Informação

Para a realização da Análise ABC foram utilizados dados históricos de faturação dos anos de 2023 e 2024, extraídos do sistema de gestão PHC, bem como informação relativa das localizações físicas dos artigos. A quantidade total expedida por referência foi utilizada como indicador da frequência de recolha dos artigos no processo de *picking*, conforme enquadrado no Capítulo 2.3.2.

A informação relativa às localizações permitiu associar cada referência à sua posição física no armazém, definida pelas coordenadas X, Y e Z utilizadas no simulador de rotas de *picking*. Para garantir a fiabilidade da análise, apenas foram consideradas as referências com correspondência válida entre os dados de faturação e a base de dados de localizações, após um processo de limpeza e tratamento dos dados, de acordo com as boas práticas referidas na literatura.

4.4.2 Metodologia da Análise ABC

Em alinhamento com a literatura apresentada no Capítulo 2.3.2, a classificação ABC foi efetuada com base na quantidade total expedida por referência, utilizada como indicador da frequência de movimentação. Este critério foi adotado por estar diretamente associado ao esforço operacional do *picking*, sendo o mais adequado aos objetivos do trabalho, centrados na melhoria da eficiência em contextos de *picking* manual. A metodologia seguiu os seguintes passos:

- Agregação das quantidades expedidas por referência;
- Ordenação decrescente das referências em função da quantidade total expedida;

- Cálculo da percentagem acumulada das quantidades;
- Classificação das referências em classes A, B e C, de acordo com os limiares definidos.

As referências foram classificadas em classes A, B e C com base na percentagem acumulada das quantidades expedidas, correspondendo, respetivamente, a 80%, 15% e 5% do total. Estes limiares, consistentes com a literatura, permitem distinguir artigos de elevada, média e baixa rotação.

4.4.3 Definição de Zonas ABC no *Layout* do Armazém

Com o objetivo de alinhar o *layout* do armazém com os resultados da Análise ABC, foi definida uma metodologia de segmentação baseada na acessibilidade das localizações. Esta acessibilidade foi estimada através de uma métrica que combina a distância horizontal percorrida, calculada com a distância de Manhattan, com uma penalização associada ao acesso a níveis verticais elevados.

A penalização vertical foi aplicada às localizações com $Z \geq 3$, sendo integrada na métrica de acessibilidade designada por distância efetiva. Adicionalmente, por razões operacionais observadas no armazém, todas as localizações em níveis superiores foram classificadas como zona C, independentemente da proximidade horizontal, evitando a alocação de artigos de elevada rotação a posições que exijam o uso sistemático de equipamentos de elevação e contribuindo para maior fluidez operacional.

Com base na distribuição das distâncias efetivas, as localizações do armazém foram ordenadas e segmentadas em zonas A, B e C através da aplicação de quantis. Os limites de cada zona foram definidos de acordo com a proporção de artigos pertencentes às classes A,B e C resultantes da Análise ABC feitas no subcapítulo anterior, assegurando que a capacidade das zonas do *layout* é consistente com a estrutura de rotação dos artigos. Este procedimento permitiu estabelecer um zonamento coerente e operacionalmente viável, suportando uma proposta de reorganização orientada para a redução dos tempos de *picking*.

4.4.4 Avaliação do Alinhamento entre a Classificação ABC e o *Layout*

A correspondência entre a classificação ABC dos artigos e o zonamento do *layout* foi avaliada através da comparação direta entre a classe ABC de cada referência e a zona do armazém onde esta se encontra armazenada. Esta análise permitiu identificar situações de desalinhamento, nomeadamente artigos de classe A localizados em zonas B ou C, bem como artigos de classes B ou C a ocupar localizações de elevada acessibilidade.

Os resultados desta avaliação são apresentados no capítulo seguinte, onde são quantificados os níveis de alinhamento e discutidas as oportunidades de reorganização do armazém, com particular foco na reorganização de artigos de elevada rotação para zonas de maior acessibilidade, tendo em vista a redução dos tempos de *picking*.

Capítulo 5

Resultados

Para a concretização dos objetivos do projeto, foi aplicada a metodologia descrita no Capítulo 4, baseada na análise e reengenharia dos processos logísticos, no recurso a ferramentas de simulação e na integração de tecnologias de suporte às operações. A aplicação desta abordagem permitiu obter resultados quantitativos e qualitativos, que são analisados neste capítulo à luz dos objetivos definidos e, sempre que pertinente, comparados com a literatura, de forma a avaliar a coerência dos efeitos observados e a eficácia das soluções implementadas no contexto da ISMA.

5.1 Impacto Quantitativo das Soluções no Tempo de *Picking*

Com base no simulador validado no Capítulo 4.1, este foi aplicado em contexto operacional para quantificar o seu impacto no tempo de *picking*, tendo sido analisadas 44 encomendas reais preparadas no armazém da ISMA com apoio das rotas geradas. A Tabela 5.1 apresenta a comparação das estatísticas descritivas dos tempos de picking entre a situação inicial descrita no Capítulo 3.3 (*AS-IS*) e o cenário resultante da aplicação do simulador (*TO-BE*).

Tabela 5.1: Estatísticas descritivas dos tempos de *picking*

Indicador	**AS-IS**	**TO-BE**
Tempo médio (min)	5,61	4,02
Mediana (min)	3,5	2,0
Desvio padrão (min)	8,1	6,2
Tempo mínimo (min)	1	0
Tempo máximo (min)	51	40

Verificou-se uma redução média de **28,3% no tempo de *picking*** no cenário *TO-BE* face ao *AS-IS*. Esta melhoria está também associada à diminuição da distância percorrida, cuja redução média foi de 3,15%, valor condicionado pelo facto de a maioria das encomendas conter apenas uma ou duas referências, limitando o impacto da otimização de rotas. Contudo, em encomendas

mais extensas, observaram-se reduções de distância mais significativas, podendo atingir cerca de 10%.

Ainda assim, os ganhos obtidos resultam exclusivamente de uma ferramenta de apoio à decisão, sem investimento em automatização, evidenciando a viabilidade da solução em armazéns manuais. Como limitação, o desenvolvimento em Excel condiciona a integração com os sistemas existentes, sendo a incorporação da lógica no PHC uma evolução futura relevante.

5.2 Resultados da Reengenharia dos Processos Logísticos e da Leitura por Código de Barras

A reengenharia dos processos logísticos, suportada pela leitura por código de barras através de PDT, contribuiu de forma significativa para a modernização das operações da ISMA. Embora inicialmente orientada para a redução do tempo de *picking*, embalamento e *lead time* documental, a intervenção teve um impacto transversal na logística interna, em alinhamento com os princípios da Logística 4.0. A comparação entre os fluxogramas apresentados nas Figuras 3.4 e 4.3 permitiu identificar os principais resultados da reengenharia implementada:

- **Introdução de pontos de validação**: Foram introduzidos eventos de controlo ao longo do processo, suportados por leitura de código de barras e integrados em documentos de controlo de qualidade;

- **Melhoria da rastreabilidade**: Uma separação clara entre fluxos conformes, pendentes e não conformes contribui para um controlo mais rigoroso do *stock*;

- **Redução da dependência do operador**: A orientação e automatização das tarefas pelo sistema diminuem o risco de erro humano;

- **Alinhamento com os princípios da Logística 4.0**: Os processos passam a ser orientados por eventos, dados e integração digital, criando bases para a evolução contínua do sistema logístico.

Adicionalmente, as figuras evidenciam uma redução do número de fases dos processos atuais, traduzindo uma maior uniformização dos fluxos operacionais. A solução, desenvolvida no Capítulo 4.2 para implementação futura, não foi validada em ambiente real; assim, os resultados apresentados baseiam-se numa análise estimativa, assente na comparação entre os estados *AS-IS* e *TO-BE* e na análise funcional das interfaces desenvolvidas.

Tabela 5.2: Comparação global entre o estado atual (*AS-IS*) e o estado proposto (*TO-BE*)

Dimensão analisada	***AS-IS***	***TO-BE***
Validação da informação	Maioritariamente manual e dependente do operador	Validação sistemática suportada por leitura de código de barras
Registos operacionais	Manuais, dispersos e realizados a posteriori	Automatizados e registados em tempo real
Controlo de inconformidades	Deteção tardia ou inexistente	Deteção imediata ao longo do processo
Atualização do *stock*	Posterior e suscetível a erros	Atualização automática, orientada por eventos
Integração entre processos	Fragmentada e pouco normalizada	Integração contínua entre receção, reposição, *picking*, embalamento e expedição
Dependência do operador	Elevada, com elevada variabilidade operacional	Reduzida, com processos orientados pelo sistema

Os resultados da Tabela 5.2 evidenciam que a reengenharia dos processos e o desenvolvimento das interfaces reforçaram a fiabilidade da informação e reduziram a dependência do operador. Adicionalmente, foram implementadas no PHC as relações necessárias para a geração automática da etiqueta da transportadora na fase de expedição.

A implementação da leitura por código de barras ficou dependente de um fornecedor externo, não tendo sido possível concretizá-la durante a dissertação. Ainda assim, ficaram definidos os processos *TO-BE* e normalizados os fluxos operacionais, preparando o sistema para uma futura implementação. Com a adoção desta tecnologia, a ISMA passará a dispor de dados sistemáticos sobre os tempos dos processos, permitindo a monitorização dos KPIs definidos no Capítulo 2.4.

5.3 Impacto da Normalização do Catálogo e Estruturação de Famílias

A normalização do catálogo e a estruturação de famílias e subfamílias no PHC permitiram criar uma hierarquia coerente de classificação, reduzindo ambiguidades e melhorando a pesquisa e filtragem de artigos. Embora não tenha sido possível quantificar impactos temporais, a intervenção gerou resultados estruturais relevantes, assegurando a cobertura das famílias de maior importância económica e uma base consistente para a gestão dos produtos.

No seguimento da metodologia apresentada no Capítulo 4.3, a estrutura das principais famílias de produtos priorizadas, definida e validada em conjunto com os Departamentos Comercial e de

Compras, encontra-se resumida na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Estrutura das famílias e subfamílias definidas no âmbito da normalização do catálogo

Família	**N.º Subfamílias 1**	**N.º Subfamílias 2**
Válvulas	24	102
Acessórios	12	57
Eletroválvulas	9	32

Após a definição da hierarquia de classificação, foi possível integrar no sistema PHC um conjunto significativo de referências com os três níveis completos (Família–Subfamília 1–Subfamília 2). A Tabela 5.4 apresenta o número de referências categorizadas por família, evidenciando o alcance da normalização realizada.

Tabela 5.4: Número de referências categorizadas com os três níveis completos e integradas no PHC

Família	**Referências categorizadas**
Válvulas	6 945
Acessórios	5 689
Total	**12 634**

A relevância económica das famílias priorizadas é evidenciada pela faturação dos anos de 2023 e 2024. A Tabela 5.5 mostra que as famílias ***Acessórios*** e ***Válvulas*** representam, em conjunto, cerca de **60% do volume de negócios** da ISMA em ambos os anos analisados. Assim, apesar de subsistirem referências por categorizar noutras famílias, o trabalho desenvolvido incidiu sobre o núcleo principal do negócio da empresa.

Tabela 5.5: Peso das famílias Válvulas e Acessórios na faturação (2023–2024)

Família	**2023**	**2024**
Acessórios	35%	34%
Válvulas	28%	28%
Total	**63%**	**62%**

Em síntese, os resultados desta intervenção traduzem-se na :

(i) Criação e validação de uma estrutura hierárquica de famílias e subfamílias para as principais categorias do catálogo;

(ii) Categorização e integração no PHC de 42% das referências existentes com os três níveis completos;

(iii) Cobertura das famílias mais relevantes do ponto de vista económico, correspondendo a cerca de 60% da faturação anual.

Como desenvolvimento futuro, recomenda-se a conclusão da categorização das restantes referências, assegurando a classificação completa dos artigos nos três níveis definidos e a sua integração no PHC. Paralelamente, deverá ser promovida a divulgação interna da nova estrutura, em particular junto do Departamento Comercial, garantindo a sua correta utilização.

5.4 Resultados da Análise ABC

A Análise ABC, apresentada no Capítulo 4.4, foi aplicada aos dados de faturação de 2023 e 2024, considerando apenas as referências com localização definida, com o objetivo de apoiar a reorganização do *layout* do armazém e reduzir o esforço nas operações de *picking*. A distribuição dos artigos pelas classes ABC, apresentada na Tabela 5.6, evidencia uma forte concentração da movimentação num número reduzido de referências, em consonância com o princípio de Pareto referido na literatura.

Tabela 5.6: Distribuição dos artigos por classes ABC

Classe ABC	Nº de artigos	% de artigos	% da quantidade acumulada
A	453	12,80	79,96
B	820	23,17	94,99
C	2266	64,02	100.00

Verifica-se que 12,8% dos artigos (Classe A) concentram cerca de 80% da quantidade movimentada, enquanto 64,0% das referências (Classe C) representam apenas 5,0% do total, confirmando o princípio de Pareto. Estes resultados validam a Análise ABC no contexto da ISMA e justificam a priorização dos artigos de Classe A na reorganização do *layout* do armazém. Nesse âmbito, as localizações foram classificadas em zonas A, B e C, com base na distância *Manhattan* e em penalizações associadas a níveis elevados de armazenamento, verificando-se que a zona A reúne as posições mais acessíveis (59), enquanto a zona C concentra a maioria das localizações (530).

Tabela 5.7: Distribuição das localizações por zona do *layout*

Zona do *layout*	Nº de localizações	Distância média efetiva
A	59	27,58
B	36	51,22
C	530	79,36

Com base na classificação dos artigos e das localizações, foi analisado o grau de alinhamento entre a classe ABC dos artigos e a zona do *layout* onde se encontram armazenados. A Tabela 5.8 apresenta a matriz de correspondência entre estas duas classificações.

Tabela 5.8: Matriz de alinhamento entre a classe ABC dos artigos e a zona do *layout*

Classe ABC	**Zona do *layout***		
	A	B	C
A	72	26	355
B	78	54	688
C	112	116	2038

Em particular, verifica-se que apenas 15,9% dos artigos de Classe A se encontram localizados na zona A, enquanto 78,4% estão armazenados na zona C, a menos acessível, o que contribui para o aumento das distâncias percorridas no processo de *picking*. De forma semelhante, a Classe B apresenta uma elevada concentração na zona C (83,9%), incluindo artigos posicionados na zona A que poderiam ser reservados a artigos de Classe A. Relativamente à Classe C, embora a maioria dos artigos esteja corretamente localizada na zona C (90,0%), observa-se ainda a ocupação de zonas mais acessíveis por artigos de baixa rotação, evidenciando um desalinhamento global entre a classificação ABC e o *layout* do armazém.

Apesar de os resultados evidenciarem a necessidade de reorganizar o *layout* do armazém, a sua implementação não foi realizada durante o período da dissertação, devido aos custos, paragens operacionais e impacto no funcionamento diário da empresa. Assim, não foi possível quantificar o ganho real no tempo de *picking*. Ainda assim, a análise realizada permitiu validar, de forma fundamentada, que a reorganização do *layout* com base na Análise ABC é uma solução tecnicamente adequada, com potencial para reduzir o esforço operacional e melhorar a eficiência do processo de *picking*.

Capítulo 6

Conclusão

O presente trabalho teve como principal objetivo contribuir para a melhoria dos processos logísticos internos da ISMA, enquadrando essa intervenção no contexto da transição para os princípios da Logística 4.0. Ao longo do projeto, foi possível demonstrar que intervenções relativamente simples, quando sustentadas por análise de dados e reengenharia de processos, podem gerar impactos significativos na eficiência operacional e na qualidade da informação de suporte à tomada de decisão.

Foi realizado um diagnóstico detalhado do estado atual (*AS-IS*) das operações logísticas, permitindo identificar diversas ineficiências, nomeadamente erros de localização e quantidade, redundância de tarefas manuais, ausência de critérios estruturados de organização do armazém e inconsistências na classificação e designação dos artigos no sistema de informação da empresa (PHC).

Com base neste diagnóstico, foram definidos vários eixos de intervenção alinhados com os objetivos do projeto. No que respeita à redução do tempo de *picking*, destacam-se a reengenharia dos processos logísticos através da introdução da leitura por código de barras com Terminais Portáteis de Dados (PDT) e o desenvolvimento de um simulador de rotas de *picking*, que permitiu analisar diferentes cenários de organização do armazém e políticas de roteamento como apoio à decisão. Adicionalmente, foi realizada uma Análise ABC aos dados históricos de faturação e movimentação, com vista a avaliar o contributo de uma eventual reorganização do *layout* do armazém, baseada em critérios de rotatividade.

Outro objetivo central do projeto consistiu na reestruturação do catálogo de produtos, concretizada pela normalização das designações e pela definição de uma hierarquia estruturada de famílias e subfamílias. Esta intervenção visou melhorar a coerência e qualidade da informação disponível no sistema, facilitando a pesquisa de artigos, o apoio às atividades comerciais e a gestão de *stock*.

Por fim, com vista à redução dos tempos associados aos processos de embalamento e expedição, procedeu-se à reengenharia dos respetivos processos logísticos, considerando a utilização de Terminais Portáteis de Dados (PDT) como suporte à digitalização e automatização de tarefas e do fluxo documental.

Do ponto de vista quantitativo, a otimização do processo de separação de pedidos, suportada

pelo simulador de rotas de *picking*, permitiu estimar uma redução média de aproximadamente **28% no tempo de *picking***. Tendo em conta um volume anual médio de cerca de 11 000 encomendas, esta melhoria traduz-se numa poupança anual aproximada de **290 horas de trabalho**, correspondente a cerca de **0,16 FTE** (*Full-Time Equivalent*), uma medida normalizada de carga de trabalho em que 1 FTE representa o equivalente a um colaborador a tempo inteiro num ano. Numa perspetiva económica, assumindo um salário bruto anual de 12 880 € por operador de armazém, esta redução corresponde a uma poupança aproximada de **2 060 € por operador**, o que, considerando os três operadores existentes no armazém da ISMA, representa um impacto económico global estimado de cerca de **6 180 € por ano**.

A literatura evidenciou que a leitura por código de barras contribui para a redução dos tempos operacionais e das tarefas manuais nos processos de embalamento e expedição. Atendendo ao contexto da ISMA e ao grau de automatização considerado, estima-se de forma conservadora uma redução na ordem dos 15% nestes processos. Considerando um tempo médio inicial de cerca de 4,15 minutos por encomenda, esta melhoria traduz-se numa poupança anual aproximada de **114 horas de trabalho**, equivalente a **0,06 FTE**, correspondendo a um impacto económico anual estimado de cerca de **770 € por operador** de armazém.

A normalização e reestruturação do catálogo de produtos, abrangendo cerca de **42% das referências da empresa**, constituiu igualmente um contributo central do projeto, melhorando a coerência e a qualidade da informação no sistema PHC, com impacto direto no tempo de elaboração de propostas comerciais e no apoio às decisões de compras e gestão de *stock*.

Apesar de não ter sido possível quantificar, em ambiente real, todos os indicadores definidos na literatura, o trabalho demonstrou que as soluções propostas são tecnicamente viáveis e alinhadas com os objetivos estratégicos da organização. A principal limitação do estudo prendeu-se com a impossibilidade de implementar integralmente essas soluções durante o período do estágio, o que condicionou a recolha de resultados quantitativos. Ainda assim, a comparação entre os estados *AS-IS* e *TO-BE* evidencia um claro potencial de melhoria ao nível da eficiência operacional, da redução de erros e da qualidade da informação.

Como trabalho futuro, recomenda-se a implementação faseada das soluções propostas, incluindo a reorganização do *layout* do armazém com base na Análise ABC, a consolidação da leitura por código de barras e a extensão da normalização das famílias e subfamílias a todo o catálogo de produtos. A recolha e disponibilização sistemática de dados operacionais permitirá, adicionalmente, reforçar o apoio à tomada de decisão e viabilizar análises mais aprofundadas nas áreas de compras, gestão de *stock* e desempenho comercial, atualmente pouco exploradas na organização.

Em síntese, o trabalho demonstrou que a adoção gradual dos princípios da Logística 4.0 constitui um passo consistente e sustentado na modernização logística da ISMA, criando bases sólidas para futuras evoluções, para a melhoria contínua dos processos e para o reforço da competitividade da empresa.

Referências

Adeodu, A. O., Maladzhi, R. W., Kana-Kana Katumba, M. G., and Daniyan, I. A. (2023). Development of an improvement framework for warehouse processes using lean six sigma (dmaic) approach: A case of third-party logistics (3pl) services. *Heliyon*, 9(3):e14915.

Anwar, U. A. A., Rahayu, A., Wibowo, L. A., Sultan, M. A., Aspiranti, T., Furqon, C., and Rani, A. M. (2025). Supply chain integration as the implementation of strategic management in improving business performance. *Discover Sustainability*, 6(101).

Automation, G. (2023). Pick-to-light explained: Using light for direction in warehouse logistics. Accessed: 2025-11-04.

Bashatah, J. A. and Elnaggar, G. R. (2025). Enhancing warehouse picking efficiency through integrated allocation and routing policies: A case study towards sustainable and smart warehousing. *Applied Sciences*, 15(20):11186.

Chen, N., Liu, Q., Stević, Z., Andrejić, M., and Pajić, V. (2024). An integrated cost based approach for warehouse performance evaluation: A new multiphase model. *Alexandria Engineering Journal*, 101:62–77.

Chen, R., Yang, J., and Yu, Y. (2026). Integrated scattered storage and picker routing in picker-to-parts warehouses. *European Journal of Operational Research*, 329(2):808–824.

Chondromatidis, N., Gialos, A., Zeimpekis, V., and Madas, M. (2024). Investigating the impact of completion time and perceived workload in pickers-to-parts order-picking technologies: Evidence from laboratory experiments. *Logistics*, 8(1):13.

Dujmešić, N., Bajor, I., and Rožić, T. (2018). Warehouse processes improvement by pick by voice technology. *Tehnički vjesnik*, 25(4):1227–1233.

Götz, L. N., Staudt, F. H., Borba, J. L. G. d., and Bouzon, M. (2023). A framework for logistics performance indicators selection and targets definition: a civil construction enterprise case. *Production*, 33:e20220075.

Group, N. (2022). The roi of voice picking: Calculating the return on investment and productivity benefits of voice-directed warehouse operations. Accessed: 2025-11-04.

Huo, B., Zhang, Z., Guo, M., Ye, Y., Lyu, X., and Zheng, G. (2025). Total supply chain management (tscm): The face (csiso) model. *Journal of Digital Management*, 1(11).

Jahani, H., Jain, R., and Ivanov, D. (2023). Data science and big data analytics: a systematic review of methodologies used in the supply chain and logistics research. *Annals of Operations Research*.

Kamali, A. (2019). Smart warehouse vs. traditional warehouse – review. *CiiT International Journal of Automation and Autonomous System*, 11(1):9–16.

Koutromanos, G. and Kazakou, G. (2023). Augmented reality smart glasses use and acceptance: A literature review. *Computers & Education: X Reality*, 2:100028.

Lara, A. C., Menegon, E. M. P., Sehnem, S., and Kuzma, E. (2022). Relationship between just in time, lean manufacturing, and performance practices: a meta-analysis. *Gestão Produção*, 29:e9021.

Liu, F., Lu, C., Gui, L., Zhang, Q., Tong, X., and Yuan, M. (2023). Heuristics for vehicle routing problem: A survey and recent advances. *arXiv preprint arXiv:2303.04147*.

Liu, F. and Ma, N. (2020). Multicriteria abc inventory classification using the social choice theory. *Sustainability*, 12(1):182.

Madanchi, F., Maghroor, H. R., and O'Neal, T. (2025). Integrating objectives and key results (okrs) and key performance indicators (kpis) in supply chain performance management. In *Conference on Supply Chain Performance, ResearchGate*, Orlando, USA.

Marziali, M., Rossit, D. A., and Toncovich, A. (2022). Order picking and loading-dock arrival punctuality performance indicators for supply chain management: a case study. *Engineering Management in Production and Services*, 14(1):26–37.

Mhaskey, S. V. (2024). Evaluating key performance indicators for effective supply chain digitization. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 13(3):22–31.

Mikalef, P., Krogstie, J., Pappas, I. O., and Pavlou, P. (2020). Exploring the relationship between big data analytics capability and competitive performance: The mediating roles of dynamic and operational capabilities. *Information & Management*, 57(1):103169.

Min, H. (2023). Smart warehousing as a wave of the future. *Logistics*, 7(30).

Mokarrari, K. R., Sowlati, T., English, J., and Starkey, M. (2025). Optimization of warehouse picking to maximize the picked orders considering practical aspects. *Applied Mathematical Modelling*, 137:115585. Available online 25 June 2024.

Moreno-Baca, F., Cano-Olivos, P., Sánchez-Partida, D., and Martínez-Flores, J.-L. (2025). The bullwhip effect and ripple effect with respect to supply chain resilience: Challenges and opportunities. *Logistics*, 9(2):62.

Naughton, E., Moran, R., Kharub, M., Sá, J. C., and McDermott, O. (2024). A structured model for continuous improvement methodology deployment and sustainment: A case study. *Heliyon*, 10:e40034.

Nguyen, N. A. T. (2025). Advanced process optimization in logistics and supply chain. *Processes*, 13(6):1864.

Obinwanne, T., Udokwu, C., Zimmermann, R., and Brandtner, P. (2023). Data preprocessing in supply chain management analytics: A review of methods, the operations they fulfill, and the tasks they accomplish. In *Proceedings of the 2023 6th International Conference on Computers in Management and Business (ICCMB 2023)*, pages 93–99, New York, NY, USA. ACM.

Pandya, S. N. and Desai, D. A. (2019). Inventory categorization techniques for effective inventory management. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6(1):689–700. Available online at: `https://www.jetir.org/view?paper=JETIR1901486`.

Potoczki, T., Holzapfel, A., Kuhn, H., and Sternbeck, M. (2024). Integrated cross-dock location and supply mode planning in retail networks. *International Journal of Production Economics*, 276:109349.

Saderová, J., Rosová, A., Sofranko, M., and Kačmáry, P. (2021). Example of warehouse system design based on the principle of logistics. *Sustainability*, 13(8):4492.

Schwerdtfeger, B., Müller, R., and Günthner, W. A. (2024). Investigating the impact of completion time and perceived workload of picker-to-goods technologies. *Machines*, 12(1):13.

SimpleKPI (2025). Kpi pyramid: Align business goals with daily metrics. Imagem de pirâmide Estratégico–Tático–Operacional.

Software, P. (2023). O que é um erp e como pode transformar a sua empresa. acessado em 17 novembro 2025.

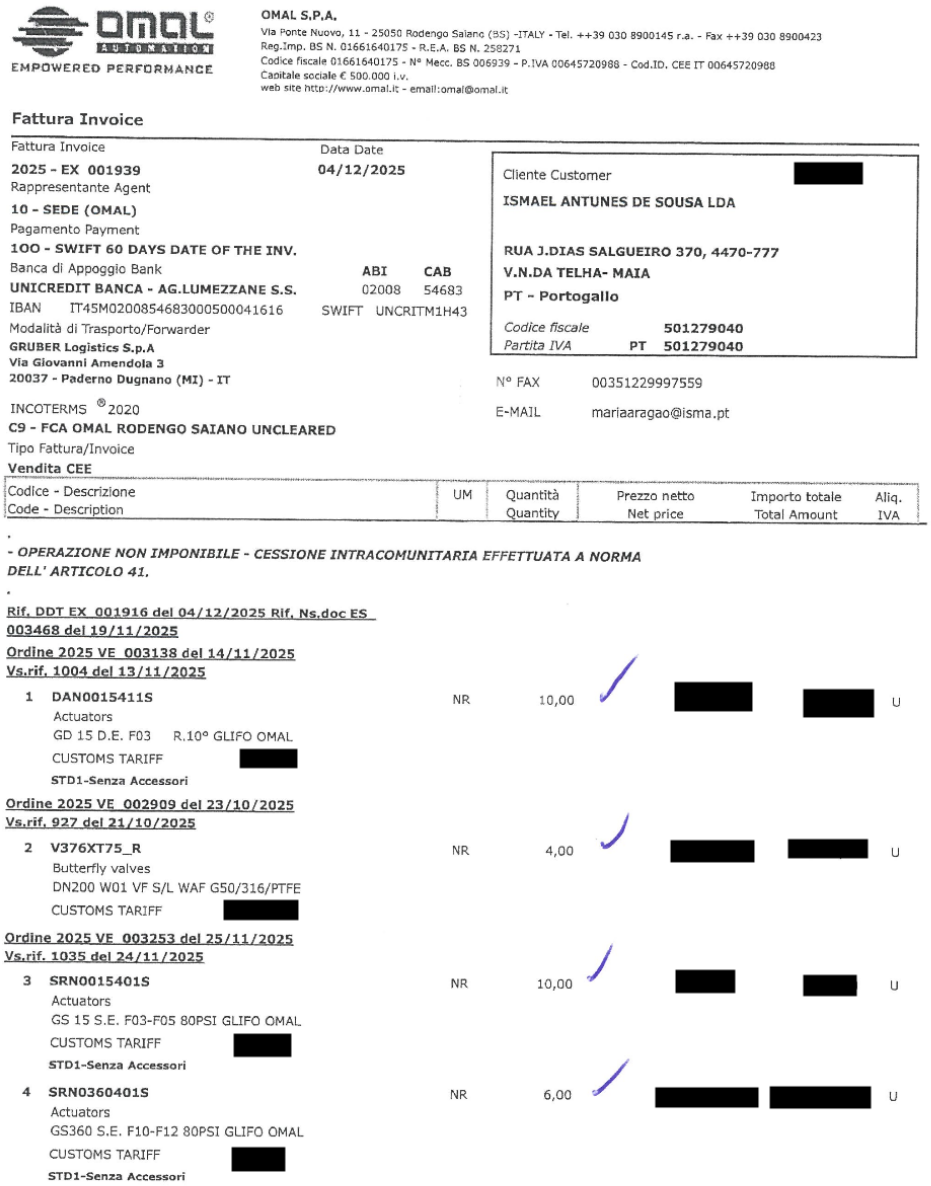
Stockinger, C., Steinebach, T., Petrat, D., Bruns, R., and Zöller, I. (2020). The effect of pick-by-light systems on situation awareness in order picking activities. *Procedia Manufacturing*, 45:96–101.

Vaccari, L., Coruzzolo, A. M., Lolli, F., and Sellitto, M. A. (2024). Indoor positioning systems in logistics: A review. *Logistics*, 8(4).

Zhang, W., Li, C., and Huang, R. (2023). Roi analysis of rfid-based intelligent inventory management. *Finance, Management and Sustainability*, 1(2):45–58.

Anexo A

Guia de Transporte



OMAL S.P.A.
Via Ponte Nuovo, 11 - 25050 Rodengo Saiano (BS) -ITALY - Tel. ++39 030 8900145 r.a. - Fax ++39 030 8900423
Reg.Imp. BS N. 01661640175 - R.E.A. BS N. 258271
Codice fiscale 01661640175 - N° Mecc. BS 006939 - P.IVA 00645720988 - Cod.ID. CEE IT 00645720988
Capitale sociale € 500.000 i.v.
web site http://www.omal.it - email:omal@omal.it

EMPOWERED PERFORMANCE

Fattura Invoice

Fattura Invoice: **2025 - EX 001939**
Data Date: **04/12/2025**
Rappresentante Agent: **10 - SEDE (OMAL)**
Pagamento Payment: **100 - SWIFT 60 DAYS DATE OF THE INV.**
Banca di Appoggio Bank: **UNICREDIT BANCA - AG.LUMEZZANE S.S.** ABI 02008 CAB 54683
IBAN IT45M0200854683000500041616 SWIFT UNCRITM1H43
Modalità di Trasporto/Forwarder
GRUBER Logistics S.p.A
Via Giovanni Amendola 3
20037 - Paderno Dugnano (MI) - IT
INCOTERMS ®2020
C9 - FCA OMAL RODENGO SAIANO UNCLEARED
Tipo Fattura/Invoice
Vendita CEE

Cliente Customer [redacted]
ISMAEL ANTUNES DE SOUSA LDA
RUA J.DIAS SALGUEIRO 370, 4470-777
V.N.DA TELHA- MAIA
PT - Portogallo
Codice fiscale **501279040**
Partita IVA **PT 501279040**
N° FAX 00351229997559
E-MAIL mariaaragao@isma.pt

Codice - Descrizione / Code - Description	UM	Quantità / Quantity	Prezzo netto / Net price	Importo totale / Total Amount	Aliq. IVA
- OPERAZIONE NON IMPONIBILE - CESSIONE INTRACOMUNITARIA EFFETTUATA A NORMA DELL' ARTICOLO 41.					
Rif. DDT EX 001916 del 04/12/2025 Rif. Ns.doc ES 003468 del 19/11/2025					
Ordine 2025 VE 003138 del 14/11/2025 Vs.rif. 1004 del 13/11/2025					
1 **DAN0015411S** Actuators GD 15 D.E. F03 R.10° GLIFO OMAL CUSTOMS TARIFF [redacted] **STD1-Senza Accessori**	NR	10,00	[redacted]	[redacted]	U
Ordine 2025 VE 002909 del 23/10/2025 Vs.rif. 927 del 21/10/2025					
2 **V376XT75_R** Butterfly valves DN200 W01 VF S/L WAF G50/316/PTFE CUSTOMS TARIFF [redacted]	NR	4,00	[redacted]	[redacted]	U
Ordine 2025 VE 003253 del 25/11/2025 Vs.rif. 1035 del 24/11/2025					
3 **SRN0015401S** Actuators GS 15 S.E. F03-F05 80PSI GLIFO OMAL CUSTOMS TARIFF [redacted] **STD1-Senza Accessori**	NR	10,00	[redacted]	[redacted]	U
4 **SRN0360401S** Actuators GS360 S.E. F10-F12 80PSI GLIFO OMAL CUSTOMS TARIFF [redacted] **STD1-Senza Accessori**	NR	6,00	[redacted]	[redacted]	U

Figura A.1: Exemplo de uma Guia de Transporte.

Anexo B

Packing List



DECOLUSO
AGENTES TRANSITÁRIOS

O.T.D. nº 2546142
Triplicado
Ordem TIG 3503054
Processo DCL POR TIG 2501352
Data do Pedido 2025-12-15 às 12:17:07

POD.SP25#VR#13482 SCT

SEDE: RUA RIBEIRA DO TROCA . LOTE A
1675-190 PONTINHA . TELEF. 21 4789200 . FAX 21 4789201
comercial.lisboa@decoluso.pt

FILIAL:RUA DO PINHAL, 361
4470-640 MAIA . TELEF. 22 9408900 . FAX 22 9408901
comercial.porto@decoluso.pt

FILIAL:ESTRADA NACIONAL 109, 268 R/C ESQ. ARAÚJOS
3080-436 FIGUEIRA DA FOZ . TELEF. 233 414200 . FAX 233 414205
comercial.figueira@decoluso.pt

EXPORTADOR/DEPOSITANTE

OMAL SPA

VIA PONTE NUOVO, 11

25050 RODENGO SAIANO (BS)
Contribuinte nº
Telefone

DESTINATÁRIO

ISMAEL ANTUNES DE SOUSA, LDA.

RUA JOAQUIM DIAS SALGUEIRO, 370
VILA NOVA DA TELHA
4470-777 VILA NOVA DA TELHA
Contribuinte nº 501279040
Telefone 22-9997541/3

OBSERVAÇÕES/INSTRUÇÕES DE ENTREGA

PRÉ-TRANSPORTE	COND. TRANSPORTE	RESERVAS	LOCALIZAÇÃO
LE-2187	EXW EXW		

LOCAL AP.MERCADORIAS
Rua do Pinhal 361
4470-640 MAIA

Marcas	Volumes	Descrição Mercadoria	Metros Lineares	Peso Bruto	Cubicagem
80X60X52 + 80X60X71	2 PAL	EQUIPAM.E ACESS.INDUSTRIAIS		[redacted]	0,590
TOTAIS	2			[redacted]	0,590

Declaro que recebi a mercadoria constante deste recibo, em bom estado:

Data: / / Hora:

(Assinatura e Carimbo) (Nome Legível)

OLGA

Figura B.1: Exemplo de uma *Packing List*.

Anexo C

Registo de Recepção de Materiais

ISMA	REGISTO DE RECEPÇÃO DE MATERIAIS	Código: IM.17-I.03 Numero: 2025/0982

Fornecedor: OMAL S.P.A. **P.O.** 1004/927/1035/1003

DOCUMENTO Nº: 1939 **Data:** 04/12/2025 2 Pal.

Transportador: DECOLUSO Cx

DOCUMENTO Nº: 2546142 **Data:** 15/12/2025 258 Kg

			Conforme	Não Conforme	Observações
Armazém	A verificar antes da Descarga	Guia de Transporte:	X		
		Factura:	X		
		Nº. de Embalagens:	X		
		Estado das Embalg.:	X		
	A verificar após Descarga	Nº. de Artigos:	X		
		Quantidades:	X		
		Mater. Danificado:	X		

Responsável pela Recepção: [redacted] **Data:** 17/12/2025

Compras	A verificar pelo Dep. de Compras	Prazo de entrega:			
		Preços:			
		Certif. de Qualidade:			
		Boletim de Ensaio:			

Departamento de Compras: _____

Figura C.1: Documento de controlo de qualidade da ISMA.

Anexo D

Famílias e Subfamilias

FAM	
VALVULA	A1
ACESSORIOS	A2
ELETROVALVULA	A3
ATUADOR	A4
FILTRO	A5
UG.FLEXIVEL	A6
VEDACAO	A7
ALIMENTAR	A8
PURGADOR	A9
CONTROLO	A10
UNIAO ROTATIVA	A11
VISOR	A12
ISOLAM.TERMICO	A13
INCENDIO	A14
TUBO/CHAPA/PERFIL	A15
FITA/CINTA/TAPETE	A16
PERMUT./SEPARADOR	A17
MOTOR/BOMBA/AGIT.	A18
SERVIÇOS	A19
OUTROS	A20

	SUB-FAM1	
A1	ESFERA	B1.1
	BORBOLETA	B1.2
	RETENCAO	B1.3
	GLOBO	B1.4
	GUILHOTINA	B1.5
	CUNHA	B1.6
	AGULHA	B1.7
	ACT.ON/OFF	B1.8
	ACT.MODULANTE	B1.9
	REG.PRESSAO	B1.10
	REG.CAUDAL	B1.11
	JARDIM	B1.12
	BICA	B1.13
	BOIA	B1.14
	CALDEIRA	B1.15
	SEGURANCA	B1.16
	ALIVIO	B1.17
	QUEBRA VACUO	B1.18
	PRESSAO & VACUO	B1.19
	DIAFRAGMA	B1.20
	VENTOSA	B1.21
	PINCH VALVE	B1.22
	DAMPER	B1.23
	OUTROS	B1.24
A2	ROSCAR	B2.1
	SOLDAR	B2.2
	FLANGE	B2.3
	AR COMPRIMIDO	B2.4
	ABRACADEIRA	B2.5
	CAMLOCK	B2.6
	GUILHEMIN	B2.7
	STORZ	B2.8
	FIXACAO	B2.9
	COLAR	B2.10
	BICONE	B2.11
	OUTROS	B2.12
A3	BOBINE/CONECTOR	B3.1
	2V	B3.2
	3V	B3.3
	P/GAS	B3.4
	ALTA PRESSAO	B3.5
	P/VAPOR	B3.6
	P/OXIGENIO	B3.7
	MODULAR	B3.8
	OUTROS	B3.9

	SUB-FAM2
B1.1	1C
	2C
	2C/B
	3C
	3C/B
	3V-L
	3V-L/B
	3V-T
	3V-T/B
	FLANGEADA
	FLANGEADA/B
	WAFER
	WAFER/B
	SPARE
	OUTROS
B1.2	WAFER
	LUG
	FLANGEADA
	SPARE
	OUTROS
B1.3	DISCO
	BOLA
	PORTINHOLA/CLAPETA
	DUPLA CLAPETA
	PISTAO
	FUNDO POCO
	SPARE
	OUTROS
B1.4	EMPANQUE
	FOLE
	SPARE
	OUTROS
B1.5	REDUTOR
	VOL. NÃO ASCENDENTE
	VOL.ASCENDENTE
	ALAVANCA
	ACT.PNEUMATICO
	ACT.ELETRICO
	ACT.HIDRAULICO
	SPARE
	OUTROS
B1.6	SEDE ELASTICA
	SEDE METALICA
	SPARE
	OUTROS
B1.7	PN 25
	PN200
	PN400
	3000lbs
	6000lbs
	SPARE
	OUTROS

Figura D.1: Excel com as Familias e Subfamílias.



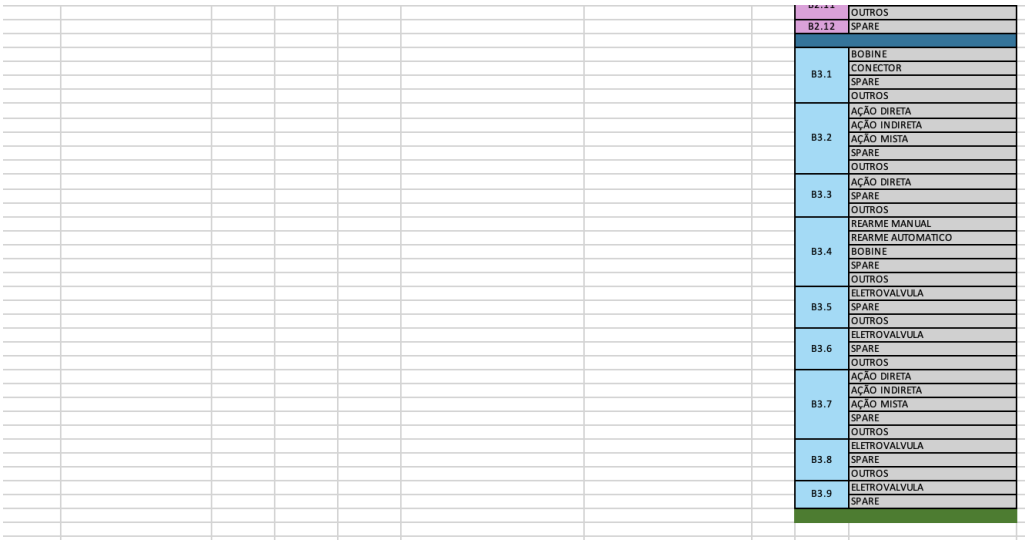
B1.8	SEDE INCL.
	MOV.AXIAL
	GLOBO 2V
	GLOBO 3V
	SPARE
	OUTROS
B1.9	SEDE INCL.
	GLOBO 2V
	GLOBO 3V
	SPARE
	OUTROS
B1.10	SPARE
	OUTROS
B1.11	ESTATICA
	DINAMICA
	SPARE
	OUTROS
B1.12	SPARE
	OUTROS
B1.13	SPARE
	OUTROS
B1.14	SPARE
	OUTROS
B1.15	DESC.CALDEIRA
	NIVEL.SUP/INF
	SPARE
	OUTROS
B1.16	800
	1400
	1415
	1216
	1811
	CHANGE-OVER
	SPARE
	OUTROS
B1.17	SPARE
	OUTROS
B1.18	SPARE
	OUTROS
B1.19	SPARE
	OUTROS
B1.20	SPARE
	OUTROS
B1.21	SPARE
	OUTROS
B1.22	SPARE
	OUTROS
B1.23	SPARE
	OUTROS
B1.24	SPARE

Figura D.2: Excel com as Familias e Subfamílias.



B2.1	CASQUILHO SEXT.
	PONTEIRA
	UNIAO
	JUNCAO
	JOELHO 90
	PORCA RED.
	CANHAO MANGUEIRA
	TE
	CASQUILHO RED.
	TACO
	TAMPAO
	JUNCAO C/VEDANTE
	UNIAO RED.
	CRUZETA
	PORCA BATENTE
	CASQUILHO LISO
	JOELHO 45
	SPARE
	OUTROS
B2.2	CURVA
	COLARINHO
	TE
	REDUCAO
	FUNDO COPADO
	SPARE
	OUTROS
B2.3	CANHAO
	PLANA
	ESTAMPADA
	SPLITON
	CEGA
	SPARE
	OUTROS
B2.4	SPARE
	OUTROS
B2.5	SPARE
	OUTROS
B2.6	A
	B
	C
	D
	E
	F
	DC
	DP
	SPARE
	OUTROS
B2.7	SPARE
	OUTROS
B2.8	SPARE
	OUTROS
B2.9	SPARE
	OUTROS
B2.10	SPARE
	OUTROS
B2.11	SPARE
	OUTROS

Figura D.3: Excel com as Familias e Subfamílias.



B2.11	OUTROS
B2.12	SPARE
B3.1	BOBINE
	CONECTOR
	SPARE
	OUTROS
B3.2	AÇÃO DIRETA
	AÇÃO INDIRETA
	AÇÃO MISTA
	SPARE
	OUTROS
B3.3	AÇÃO DIRETA
	SPARE
	OUTROS
B3.4	REARME MANUAL
	REARME AUTOMATICO
	BOBINE
	SPARE
	OUTROS
B3.5	ELETROVALVULA
	SPARE
	OUTROS
B3.6	ELETROVALVULA
	SPARE
	OUTROS
B3.7	AÇÃO DIRETA
	AÇÃO INDIRETA
	AÇÃO MISTA
	SPARE
	OUTROS
B3.8	ELETROVALVULA
	SPARE
	OUTROS
B3.9	ELETROVALVULA
	SPARE

Figura D.4: Excel com as Familias e Subfamílias.