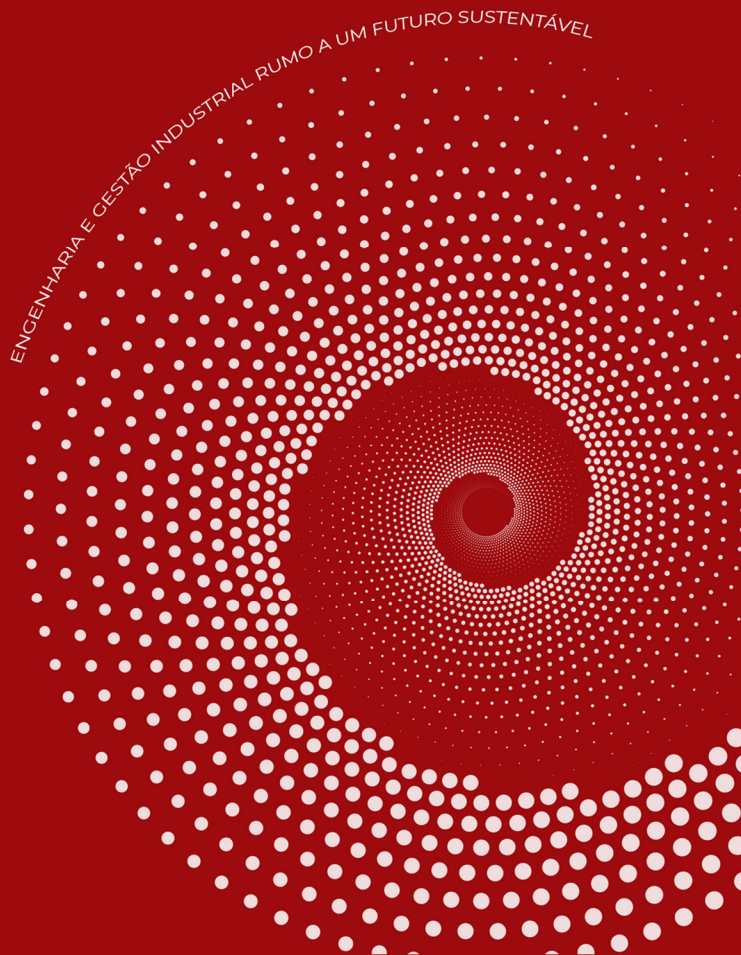
en.egi

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

ISEC . COIMBRA . 12 e 13 SET'24

11º ENEGI
Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial

Engenharia e Gestão Industrial Rumo a um Futuro Sustentável



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

Coordenação

Ana Carla Vicente Vieira
Hugo David Nogueira Raposo
José Luís Ferreira Martinho
José Manuel Torres Farinha

Edição

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
Instituto Politécnico de Coimbra
Engenharia e Gestão Industrial
Rua Pedro Nunes – Quinta da Nora
3030-199 Coimbra, Portugal

ISBN

978-989-8331-18-2

v.2

Todos os direitos reservados.
Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada ou transmitida total ou parcialmente, por nenhuma forma e nenhum meio, seja mecânico, eletrónico, ou qualquer outro, sem autorização prévia escrita dos autores e editores.
Os textos, bem como toda a informação gráfica do seu conteúdo são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.

Dezembro de 2024

NOTA DE ABERTURA

Cumpriu-se este ano a realização do Encontro Nacional de Engenharia Industrial (ENEGI) pela 11ª vez. Depois da Universidade do Minho em 2011, onde se realizou a 1ª edição desta série de Encontros, e de várias outras instituições de ensino superior nacionais, foi no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) que tivemos o prazer de organizar o ENEGI 2024, nos dias 12 e 13 de setembro, subordinado ao tema geral "Engenharia e Gestão Industrial Rumo a um Futuro Sustentável".

O ENEGI tem na sua génese o propósito de reunir estudantes, professores, investigadores e profissionais para debater temas de interesse para a Engenharia e Gestão Industrial e proporcionar uma plataforma de partilha de conhecimentos, sobretudo destinada aos estudantes de EGI das várias universidades e politécnicos do país. Nesta edição, tentámos respeitar o legado das 10 edições anteriores, organizando ao longo de dois dias três painéis com oradores convidados vindos da academia e da indústria e um com as empresas patrocinadoras nossas parceiras, para além da comunicação de trabalhos realizados por alunos de licenciatura, mestrado e doutoramento das várias instituições de ensino superior. Este ano foram 41 os artigos aceites, da autoria de estudantes e docentes de 11 diferentes escolas, que agora aqui se publicam para memória futura. Estes trabalhos foram apresentados em 10 sessões paralelas organizadas em torno de vários temas nucleares da EGI, como a Logística, a Gestão da Produção, o *Lean* e a Melhoria Contínua, a Gestão da Manutenção e a Gestão de Ativos Físicos, a Ergonomia, a Sustentabilidade, a Digitalização da Indústria, entre outros temas transversais.

Importa deixar alguns agradecimentos a quem tornou possível a organização do ENEGI 2024. Em primeiro lugar ao ISEC que apoiou o evento desde a primeira hora. Em segundo lugar, às empresas que se associaram como patrocinadoras e que viabilizaram a participação de todos de forma gratuita. Em terceiro, aos oradores convidados que enriqueceram o ENEGI 2024 com a sua sabedoria. E por último, aos alunos do ISEC, da Licenciatura e Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial e do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos, que auxiliaram a organização. Por fim, o nosso muito obrigado a todos os cerca de 200 participantes que coloriram os dois dias do evento.

Votos de longa vida para o ENEGI e até breve, no ENEGI 2025.

A Comissão Organizadora do ENEGI 2024,

Ana Vieira, Coordenadora da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC

Ana Maia, Aluna do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC

Hugo Raposo, Comissão Coordenadora do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC

Hugo Pinto, Aluno da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC

José Luís Martinho, Coordenador do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC

José Torres Farinha, Coordenador do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos do ISEC

Pedro Apóstolo, Aluno do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos do ISEC

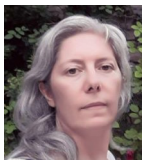
ÍNDICE

ORGANIZAÇÃO DO ENEGI 2024 5
Comissão Organizadora 5
Comissão Científica 6
Comissão Comunicação e Imagem 7
Comissão Executiva 7
APOIOS E PATROCÍNIOS 9
Apoio Institucional 9
Patrocínios 9
PROGRAMA GERAL 10
Sessão de Abertura 11
Sessões Plenárias e Oradores Convidados 12
Desafios presentes e futuros da profissão em EGI 12
Gestão de ativos, economia circular e sustentabilidade 13
Lean para a Sustentabilidade 14
Sessões Paralelas de Apresentação de Trabalhos 15
5ª feira, 12 de setembro de 2024, 11:45 15
Logística 15
Empreendedorismo, Sociedade e Educação em EGI 15
5ª feira, 12 de setembro de 2024, 16:00 16
Digitalização na Indústria 16
Gestão da Produção 16
Sustentabilidade na Engenharia Industrial 16
5ª feira, 12 de setembro de 2024, 17:00 17
Aplicação do Lean na Logística 17
Gestão de Ativos e Análise do ciclo de vida 17
6ª feira, 13 de setembro de 2024, 11:30 18
Gestão da Manutenção 18
Gestão Lean e Projetos de melhoria contínua 18
A Ergonomia e o Fator Humano na Indústria 18
Sessões Técnicas com Empresas 19
6ª feira, 13 de setembro de 2024, 14:30 19
ARTIGOS 21
ID04 Projeto de industrialização de um componente de uma bicicleta elétrica 23
ID05 Novo Método de Gestão dos Tempos de Manutenção 34
ID06 Manutenção Preditiva Avançada de Sistemas com Correias: Integração de Redes LSTM e da Análise da Assinatura da Corrente do Motor 41
ID07 O Impacto de Novas Tecnologias na Substituição de Ativos 51
ID09 Codificação de Equipamentos na Moldetipo Group 62
ID10 Melhoria contínua no departamento de logística de uma empresa de injeção de plástico 74
ID11 Otimização da movimentação de recursos no Departamento de Produção da Coberfer 84

ID12 Aplicação de ferramentas Lean e melhoria contínua em processos de armazenagem no setor da indústria cerâmica 93
ID13 Optimizing Equipment Replacement Decisions: A Life Cycle Cost Analysis Approach Considering System Interdependencies 106
ID14 Contributos para a Digitalização no Chão de Fábrica de uma Empresa de Metalomecânica 112
ID15 Aplicação de ferramentas e princípios Lean no armazém de uma empresa de componentes para automóveis 124
ID16 Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Ergonomia de Produção 135
ID17 Mitigação de Produtos Danificados Através da Normalização de Processos num Armazém de Distribuição Farmacêutica 143
ID18 The Role of Employees in Implementing a SAP System: A Practical Case in the Luxury Leather Goods Industry 153
ID19 Sistema de Apoio à Decisão para a Avaliação de Fornecedores com Base em Práticas Sustentáveis 162
ID20 Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos 170
ID21 Índice Multicritério de Prioridade de Risco para a Avaliação de Falhas na Metodologia FMECA 184
ID22 The Potential of Human Factors Integration in Production and Logistics Systems Dealing with Workforce Heterogeneity 192
ID23 CFD Modeling of Collection Efficiency in a Large-Scale Venturi Scrubber 201
ID24 Gestão de consumíveis e atualização da lista de materiais numa empresa do setor automóvel 209
ID25 Parameter Sensitivity of the SEIZ Model to Study the Propagation of Untrue Information 219
ID26 Geoturismo: um estudo da motivação para uma nova forma de turismo sustentável 230
ID27 Projeto integrado no 2ºano de LEGI da UMINHO: A experiência de 2024 239
ID28 Modelo de programação linear inteira mista para o problema de escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas com troca de ferramentas 251
ID29 Uma meta-heurística para o escalonamento num sistema *Job-Shop* flexível com dimensionamento de lotes 260
ID30 Modelação do efeito de radiação no comportamento e conforto térmico em edifícios utilizando *EnergyPlus*^{TM} 270
ID32 The Impact of Level One Maintenance Performance Analysis in a Workshop: A Wind Blade Factory Case Study 278
ID33 Maintenance vs. Job Satisfaction: A Bus Company Case Study 287
ID34 Impulsionando a melhoria continua: Implementação de uma Sala Dojo na *GrandVision* 296
ID35 Otimização de processos operacionais no ensaio de bicicletas: Um estudo de caso 303
ID36 Implementação da norma NP EN ISO 50001 na SRAM 315
ID37 Melhoria contínua e análise da eficácia geral do setor da costura numa empresa do setor têxtil 328
ID38 Gêmeos Digitais Híbridos e o Estudo de Caso na Indústria da Energia Eólica 339
ID39 Análise Quantitativa do Efeito Causal do Alojamento Local no Preço das Habitações em Lisboa 347
ID40 Mobilidade Partilhada: Análise da Perceção da População com Modelos de Previsão 358
ID41 Estudo e Análise da Aplicabilidade da Realidade Aumentada num Processo de Montagem de Banco de Ensaio de Bicicleta 368
ID42 Automatização de registos e de contagens na escolha e embalagem de uma cerâmica 374
ID43 Otimização de operações de *picking* através de uma eficiente localização do armazenamento 389
ID44 Otimização da produção numa máquina de estampagem por aplicação da Filosofia *Lean* 395
ID45 A Integração da Transformação Digital na Gestão de Ativos nas Empresas Nacionais 411
ID46 Gestão de Operações em Fabricação Aditiva: Caso do CDRSP 420
ID47 Estratégias Avançadas na Gestão de um Armazém de Papel numa Empresa do Setor da Embalagem 434

ORGANIZAÇÃO DO ENEGI 2024

Comissão Organizadora



Ana Carla Vicente Vieira

Coordenadora da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC



Ana Isabel Duarte Maia

Aluna do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC



Hugo David Nogueira Raposo

Comissão Coordenadora do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC



Hugo Mendes Pinto

Aluno da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC



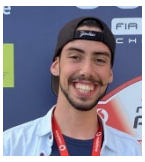
José Luís Ferreira Martinho

Coordenador do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do ISEC



José Manuel Torres Farinha

Coordenador do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos do ISEC



Pedro Miguel de Lemos Apóstolo

Aluno do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos do ISEC

Comissão Científica

Alzira Mota	Instituto Superior de Engenharia de Porto (IPP)
Ana Paula Barroso	Universidade Nova de Lisboa
Ana Cristina Ferreira	Universidade Lusíada (VN Famalicão)
Ana Sofia Matos	Universidade Nova de Lisboa
Ana Vieira	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (IPC)
Anabela Alves	Universidade do Minho
António Abreu	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (IPL)
António Duarte	Instituto Politécnico de Bragança
António Marques Cardoso	Universidade da Beira Interior
António Rocha	Instituto Politécnico de Cávado e Ave
Carina Pimentel	Universidade do Minho
Cristóvão Silva	Universidade de Coimbra
Eurico Amorim	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Francisco Silva Pinto	Universidade Lusófona
Gerardo Silva	Universidade Portucalense
Helena Carvalho	Universidade Nova
Hugo Raposo	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (IPC)
João Matias	Universidade de Aveiro
Eugénio Garção	Universidade de Évora
José Luís Martinho	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (IPC)
José Oliveira Santos	Universidade Lusófona
José Torres Farinha	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (IPC)
Leonor Teixeira	Universidade de Aveiro
Luís Ferreira	Universidade de Coimbra
Manuel Lopes	Instituto Superior de Engenharia de Porto (IPP)
Marcelo Gaspar	Instituto Politécnico de Leiria
Maria Carravilla	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Miguel Vieira	Universidade Lusófona

Comissão Científica

Mónica Oliveira	Instituto Superior Técnico (U Lisboa)
Nuno Fernandes	Instituto Politécnico de Castelo Branco
Paula Ferreira	Universidade do Minho
Paulo Ávila	Instituto Superior de Engenharia de Porto (IPP)
Pedro Amorim	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Pedro Dinis Gaspar	Universidade da Beira Interior
Raquel Xambre	Universidade de Aveiro
Ricardo Mateus	Universidade Lusófona
Samuel Moniz	Universidade de Coimbra
Tânia Lima	Universidade da Beira Interior
Tânia Varela	Instituto Superior Técnico (U Lisboa)
Vera Miguéis	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Comissão Comunicação e Imagem

Inês Duarte	Gabinete de Imagem e Relações Públicas do ISEC
João Rabaça Teixeira	Aluno da LEGI do ISEC
Margarida Duarte	Aluno do MEGAF do ISEC
Paulo Figueiredo	Aluno do MEGAF do ISEC
Teresa Jorge	Gabinete de Imagem e Relações Públicas do ISEC

Comissão Executiva

Afonso Bartolomeu	Aluno da LEGI do ISEC
Ana Miguel Carvalho	Aluno da LEGI do ISEC
Beatriz Nogueira Pereira	Aluno da LEGI do ISEC
Bruna Silva	Aluno da LEGI do ISEC
Carlos Valente	Aluno do MEGI do ISEC

Comissão Executiva

Catarina Rocha	Aluno da LEGI do ISEC
Cláudia Inês Lopes Henriques	Aluno da LEGI do ISEC
Daniel Lima	Aluno da LEGI do ISEC
David Pessoa Tabuado	Aluno da LEGI do ISEC
Eduardo Couceiro	Aluno do MEGI do ISEC
Fabiana Silva	Aluno da LEGI do ISEC
Gabriel Capela	Aluno da LEGI do ISEC
Gabriel Pires	Aluno da LEGI do ISEC
Gonçalo Seara	Aluno da LEGI do ISEC
Hugo Figueiredo	Aluno da LEGI do ISEC
Inácio de Sousa Adelino da Fonseca	Professor do MEGAF do ISEC
Inês Carvalho	Aluno da LEGI do ISEC
José Miguel Rocha	Aluno da LEGI do ISEC
José Pedro dos Santos	Aluno da LEGI do ISEC
Luís Almeida	Aluno da LEGI do ISEC
Luís Neves	Aluno do MEGAF do ISEC
Manuel Luís de Oliveira	Aluno da LEGI do ISEC
Margarida Febra	Aluno do MEGI do ISEC
Maria Clara Soares	Aluno da LEGI do ISEC
Maria Inês Fontes	Aluno da LEGI do ISEC
Maria João Lopes	Aluno da LEGI do ISEC
Maria Miguel dos Santos	Aluno da LEGI do ISEC
Mariana Pereira Graça	Aluno da LEGI do ISEC
Mariana Reis	Aluno da LEGI do ISEC
Micael Lopes	Aluno da LEGI do ISEC
Rita Soares	Aluno da LEGI do ISEC
Sofia Neves	Aluno da LEGI do ISEC
Sofia Vilas Boas	Aluno da LEGI do ISEC
Tiago Oliveira	Aluno do MEGI do ISEC

APOIOS E PATROCÍNIOS

Apoio Institucional

isec Politécnico de Coimbra

Patrocínios

VANGEST®

COBERFER CONSTRUÇÕES, S.A.

altri

Fravizel engineering

MAHLE

OLYMPUS

PROGRAMA GERAL

	12 set. 2024 (5ª feira)
9:00	*Acreditação*
9:45	Sessão de abertura
10:00	1ª Sessão Plenária **Desafios presentes e futuros da profissão em EGI**
	– Fernando de Almeida Santos (Bastonário da Ordem dos Engenheiros) – António Abreu (Comissão Instaladora do Colégio de Engenharia e Gestão Industrial da OE) – Luís Alexandre Maia Vieira (Coordenador da Especialização em Manutenção Industrial da OE) – João Figueiredo (CEO na Carmo Wood Enginnering, Diplomado em EGI pelo ISEC) – Mesa-redonda
11:15	*Coffee break*
11:45	Sessões paralelas - Apresentação de trabalhos
12:45	*Almoço*
14:00	2ª Sessão Plenária **Gestão de ativos, economia circular e sustentabilidade**
	– Daniel Gaspar (Comissão técnica de normalização CT204 Gestão de Ativos, APMI) – Joana Frazão (Departamento de Qualidade Fravizel *Engineering*) – Vitor Vinagre (Coordenador de Gestão de Ativos Águas do Centro Litoral, SA) – Mesa-redonda
15:30	*Coffee break*
16:00	Sessões paralelas - Apresentação de trabalhos
18:00	Reunião de Coordenadores
20:00	Jantar do ENEGI
	Noite surpresa

	13 set. 2024 (6ª feira)
9:00	*Acreditação*
9:30	3ª Sessão Plenária **LEAN para a sustentabilidade**
	– Sofia Rebola (Diretora de Produção - CELBI, SA) – Joana Marques Ferreira (Bluelean, Continuous Improvement Project Manager - Bluepharma) – Luís Pedro Camilo (Section Manager for ROA, Planning & Scheduling and Continuous Improvement - Olympus Medical Products Portugal) – Mesa-redonda
11:00	*Coffee Break*
11:30	Sessões paralelas - Apresentação de trabalhos
13:00	*Almoço*
14:30	Sessões técnicas com empresas
16:30	*Sessão de Encerramento*
16:45	*Coffee Break / Porto de honra*

Sessão de Abertura



Mário Velindro

Presidente do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra



José Luís Martinho

Comissão Organizadora do ENEGI 2024



Hugo Ferreira

Presidente da Associação de Estudantes do ISEC

Sessões Plenárias e Oradores Convidados

Desafios presentes e futuros da profissão em EGI

5ª feira, 12 de setembro de 2024, 10:00 horas

Moderador



Jorge Alexandre Almeida

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra

Oradores convidados



Jorge Liça

Vice-Presidente da Ordem dos Engenheiros



António Abreu

Comissão Instaladora do Colégio de Engenharia e Gestão Industrial da OE



Luís Alexandre Maia Vieira

Coordenador da Especialização em Manutenção Industrial da OE



João Figueiredo

CEO na Carmo Wood Enginnering, Diplomado em EGI pelo ISEC

Gestão de ativos, economia circular e sustentabilidade

5ª feira, 12 de setembro de 2024, 14:00 horas

Moderador



Hugo Raposo

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra

Oradores convidados



Daniel Gaspar

Professor Adjunto IPV, Comissão técnica de normalização CT204 – Gestão de Ativos, APQ



Joana Frazão

Departamento de Qualidade, Fravizel Engineering



Vitor Vinagre

Coordenador da Gestão de Ativos, Águas do Centro Litoral, SA

Lean para a Sustentabilidade

6ª feira, 13 de setembro de 2024, 9:30 horas

Moderador



Ana Carla Vieira

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra

Oradores convidados



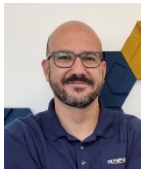
Sofia Rebola

Diretora de Produção da CELBI, SA



Joana Marques Ferreira

Continuous Improvement Project Manager, Bluepharma, SA



Luís Pedro Camilo

Section Manager for ROA, Planning & Scheduling and Continuous Improvement Olympus Medical Products Portugal

Sessões Paralelas de Apresentação de Trabalhos

Sessão de Apresentação de Trabalhos

5ª feira, 12 de setembro de 2024, 11:45

Tema	**Logística**	**Empreendedorismo, Sociedade e Educação em EGI**
Sala	QA3_A3, DEQB	Auditório Principal
Presidente de mesa	Silvino Capitão **ISEC**	Vitor Anes **ISEL**
11:45	ID24: Gestão de consumíveis numa empresa do setor automóvel **UMinho** Jennifer Lopes e Ângela Maria Esteves da Silva	ID27: Projeto integrado no 2ºano de LEGI da UMINHO: A experiência de 2024 **UMinho** Inês B. Silva, Beatriz B. Silva, Joana Coura da Silva, Marta Fernandes Ribeiro, Beatriz Santos Gonçalves, Manuel João Braga Padrão e Tiago Correia Cunha
12:00	ID43: Otimização de operações de picking através de uma eficiente localização do armazenamento **UCoimbra** Mariana Mansilha, Miguel Vieira e Telmo Pinto	ID39: Análise Quantitativa do Efeito Causal do Alojamento Local no Preço das Habitações em Lisboa **ULusófona** André Lourenço e Ricardo Mateus
12:15	ID47: Estratégias Avançadas na Gestão de um Armazém de Papel numa Empresa do Setor da Embalagem **IPLeiria** Iris Mattos, Joel Vasco e Marcelo Gaspar	ID26: Geoturismo: um estudo da motivação para uma nova forma de turismo sustentável **UMinho** Beatriz B. Silva, Inês B. Silva, Cristina S. Rodrigues e Senhorinha Teixeira
12:30		ID25: *Parameter Sensitivity of the SEIZ Model to Study the Propagation of Misinformation* **UMinho** Marta Fernandes Ribeiro, Daniel Marques Botelho, Senhorinha Teixeira e Maria Teresa Monteiro

Sessão de Apresentação de Trabalhos

5ª feira, 12 de setembro de 2024, 16:00

Tema	**Digitalização na Indústria**	**Gestão da Produção**	**Sustentabilidade na Engenharia Industrial**
Sala	QA3_A3, DEQB	Auditório Principal	G0_A2, Gerais
Presidente de mesa	Ricardo Mateus **ULusófona**	Isabel Nunes **UNL**	Paulo Ávila **ISEP**
16:00	ID14: Estudo sobre a implementação da digitalização no chão de fábrica de uma empresa de metalomecânica **UMinho** Margarida Araújo e Ângela Silva	ID11: Otimização da movimentação de recursos no Departamento de Produção da Coberfer **ISEC** Margarida Febra e Ana Vieira	ID19: Sistema de Apoio à Decisão para a Avaliação de Fornecedores com Base em Práticas Sustentáveis **UBI** Ângela Morgado, Beatriz Martins, Diogo Martins, Tânia Lima e Pedro Gaspar
16:15	ID38: Gêmeos Digitais Híbridos e o Estudo de Caso na Indústria da Energia Eólica **ISEC** Sueid Pereira Carvalho e Jorge Almeida	ID28: Modelo de programação linear inteira mista para o problema de escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas com troca de ferramentas **ISEP** Renata Santos, Alzira Mota e Luís Afonso	ID23: *CFD Modeling of Collection Efficiency in Venturi Scrubber* **UMinho** M. J. Padrão, A. Carneiro, A. M. Silva, N. Rodrigues e Senhorinha Teixeira
16:30	ID41: Estudo e Análise da Aplicabilidade da Realidade Aumentada num Processo de Montagem de Banco de Ensaio de Bicicleta **ISEC** Ana Oliveira, Joana Menezes, José Torres Farinha e Mateus Mendes	ID29: Uma metaheurística para o escalonamento num sistema Job-Shop flexível com dimensionamento de lotes **ISEP** Renata Correia, Alzira Mota e Luís Afonso	ID30: Modelação do efeito de radiação no comportamento e conforto térmico em edifícios utilizando EnergyPlusTM **UMinho** João Costa, Pedro Gonçalves, Ana Carneiro, Ana Cristina Ferreira, Senhorinha Teixeira e Nelson Rodrigues
16:45	ID42: Automatização de registos e de contagens na escolha e embalagem de uma cerâmica **ISEC** Ana Maia e Ana Vieira	ID46: Gestão de Operações em Fabricação Aditiva: Caso do CDRSP **IPLeiria** José Fernandes, Rui Ruben e Marcelo Gaspar	ID40: *Mobilidade Partilhada: Análise da Perceção da População com Modelos de Previsão* **FEUP** João Soares, Vera Miguéis e Beatriz Oliveira

Sessão de Apresentação de Trabalhos

5ª feira, 12 de setembro de 2024, 17:00

Tema	**Aplicação do Lean na Logística**	**Gestão de Ativos e Análise do ciclo de vida**
Sala	QA3_A3, DEQB	Auditório Principal
Presidente de mesa	David Domingues **ISEC**	Telmo Pinto **UCoimbra**
17:00	ID12: Aplicação de ferramentas Lean e melhoria contínua em processos de armazenagem no sector da indústria cerâmica **ISEC** Eunice Casimiro e Silvino Capitão	ID07: O Impacto de Novas Tecnologias na Substituição de Ativos **ISEC** Luís Neves, José Torres Farinha e José Martinho
17:15	ID17: Mitigação de Produtos Danificados Através da Normalização de Processos num Armazém de Distribuição Farmacêutica **ISEC** Mariana Borges e Silvino Capitão	ID13: *Optimizing Equipment Replacement Decisions: A Life Cycle Cost Analysis Approach Considering System Interdependencies* **ISEC** Rodrigo Farate de Albuquerque, José Torres Farinha e José Luís Martinho
17:30	ID15: Aplicação de ferramentas e princípios lean no armazém de uma empresa de componentes para automóveis **UMinho** Júlia Kilic e Ângela Silva	ID21: Índice Multicritério de Prioridade de Risco para a avaliação de falhas potenciais na Análise FMECA **UNL** Margareth Padre, Ricardo Mateus e João Rodrigues
17:45	ID10: Melhoria contínua no departamento de logística de uma empresa de injeção de plástico **ISEC** Sónia José e José Luís Martinho	ID36: Implementação da norma NP EN ISO 50001 na SRAM **ISEC** Hugo Pinto e Ana Vieira
18:00	ID20: Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos **ISEL** Manuel Inácio, Vítor Anes e António Abreu	ID45: A Integração da Transformação Digital na Gestão de Ativos nas Empresas Nacionais **ISEC** Samuel Messias, André Guimarães, Hugo Raposo e Daniel Gaspar

Sessão de Apresentação de Trabalhos

6ª feira, 13 de setembro de 2024, 11:30

Tema	**Gestão da Manutenção**	**Gestão Lean e Projetos de melhoria contínua**	**A Ergonomia e o Fator Humano na Indústria**
Sala	Auditório Principal	QA3_A3, DEQB	G0_A2, Gerais
Presidente de mesa	Vera Miguéis **FEUP**	Marcelo Gaspar **IPLeiria**	Senhorinha Teixeira **UMinho**
11:30	ID05: Novo Método de Gestão dos Tempos de Manutenção **ISEC** Paulo Figueiredo, Hugo Raposo e José Torres Farinha	ID04: Projeto de industrialização de um componente de uma bicicleta elétrica **ISEC** Rúben Conceição e José Luís Martinho	ID16: Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Ergonomia de Produção **UBI** Laura Sardinha, Sofia Sousa, Joana Baleiras, Tânia Lima e Pedro Gaspar
11:45	ID06: Manutenção Preditiva Avançada de Sistemas com Correias: Integração de Redes LSTM e da Análise da Assinatura da Corrente do Motor **ISEC** João Costa, José Torres Farinha, Mateus Mendes e Jorge Estima	ID37: Melhoria contínua e análise da eficácia geral do setor da costura numa empresa do setor têxtil **ISEC** Sara Silva e José Luís Martinho	ID18: *The Role of Employees in Implementing an SAP System - A Practical Case in the Luxury Leather Goods Industry* **UMinho** Ana Luísa Lobarinhas, Senhorinha Teixeira e Micael Teixeira Gonçalves
12:00	ID09: Codificação de Equipamentos na Moldetipo Group **ISEC** Diogo Pedroso, Ana Vieira e Hugo Raposo	ID35: Otimização de processos operacionais no ensaio de bicicletas: Um estudo de caso **ISEC** Joana Menezes, José Torres Farinha, Mateus Mendes e Gil Nadais	ID22: *The Potential of Human Factors Integration in Production and Logistics Systems Dealing With Workforce Heterogeneity* **UNL** Mónica Gaboleiro, Isabel Nunes e Maria Isabel Gomes
12:15	ID33: *Maintenance vs. Job Satisfaction: A Bus Company Case Study* **ISEC** Pedro Apóstolo, Hugo Raposo e Jorge Raposo	ID44: Otimização da produção numa máquina de estampagem por aplicação da Filosofia Lean **ISEC** Maria Inês Pinho e Ana Vieira	ID34: Impulsionando a melhoria contínua: Implementação de uma Sala Dojo na GrandVision **UPortucalense** Soraia Martins
12:30	ID32: *The Impact of Level One Maintenance Performance Analysis in a Workshop: A Wind Blade Factory Case Study* **ISEC** Daniela Loureiro, José Luís Martinho e José Torres Farinha		

Sessões Técnicas com Empresas

6ª feira, 13 de setembro de 2024, 14:30

14:40 VANGEST®

COBERFER CONSTRUÇÕES, S.A.

15:00 OLYMPUS

15:20 MAHLE

15:40 Fravizel engineering

16:00 altri

ARTIGOS

ID04 Projeto de industrialização de um componente de uma bicicleta elétrica....23
ID05 Novo Método de Gestão dos Tempos de Manutenção....34
ID06 Manutenção Preditiva Avançada de Sistemas com Correias: Integração de Redes LSTM e da Análise da Assinatura da Corrente do Motor....41
ID07 O Impacto de Novas Tecnologias na Substituição de Ativos....51
ID09 Codificação de Equipamentos na Moldetipo Group....62
ID10 Melhoria contínua no departamento de logística de uma empresa de injeção de plástico....74
ID11 Otimização da movimentação de recursos no Departamento de Produção da Coberfer....84
ID12 Aplicação de ferramentas Lean e melhoria contínua em processos de armazenagem no setor da indústria cerâmica....93
ID13 Optimizing Equipment Replacement Decisions: A Life Cycle Cost Analysis Approach Considering System Interdependencies....106
ID14 Contributos para a Digitalização no Chão de Fábrica de uma Empresa de Metalomecânica....112
ID15 Aplicação de ferramentas e princípios Lean no armazém de uma empresa de componentes para automóveis....124
ID16 Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Ergonomia de Produção....135
ID17 Mitigação de Produtos Danificados Através da Normalização de Processos num Armazém de Distribuição Farmacêutica....143
ID18 The Role of Employees in Implementing a SAP System: A Practical Case in the Luxury Leather Goods Industry....153
ID19 Sistema de Apoio à Decisão para a Avaliação de Fornecedores com Base em Práticas Sustentáveis 162
ID20 Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos....170
ID21 Índice Multicritério de Prioridade de Risco para a Avaliação de Falhas na Metodologia FMECA....184
ID22 The Potential of Human Factors Integration in Production and Logistics Systems Dealing with Workforce Heterogeneity....192
ID23 CFD Modeling of Collection Efficiency in a Large-Scale Venturi Scrubber....201
ID24 Gestão de consumíveis e atualização da lista de materiais numa empresa do setor automóvel....209
ID25 Parameter Sensitivity of the SEIZ Model to Study the Propagation of Untrue Information....219
ID26 Geoturismo: um estudo da motivação para uma nova forma de turismo sustentável....230
ID27 Projeto integrado no 2ºano de LEGI da UMINHO: A experiência de 2024....239
ID28 Modelo de programação linear inteira mista para o problema de escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas com troca de ferramentas....251
ID29 Uma meta-heurística para o escalonamento num sistema *Job-Shop* flexível com dimensionamento de lotes....260
ID30 Modelação do efeito de radiação no comportamento e conforto térmico em edifícios utilizando *EnergyPlus*^{TM}....270
ID32 The Impact of Level One Maintenance Performance Analysis in a Workshop: A Wind Blade Factory Case Study....278
ID33 Maintenance vs. Job Satisfaction: A Bus Company Case Study....287
ID34 Impulsionando a melhoria continua: Implementação de uma Sala Dojo na *GrandVision*....296
ID35 Otimização de processos operacionais no ensaio de bicicletas: Um estudo de caso....303
ID36 Implementação da norma NP EN ISO 50001 na SRAM....315
ID37 Melhoria contínua e análise da eficácia geral do setor da costura numa empresa do setor têxtil....328
ID38 Gêmeos Digitais Híbridos e o Estudo de Caso na Indústria da Energia Eólica....339

ID39 Análise Quantitativa do Efeito Causal do Alojamento Local no Preço das Habitações em Lisboa 347
ID40 Mobilidade Partilhada: Análise da Perceção da População com Modelos de Previsão.....358
ID41 Estudo e Análise da Aplicabilidade da Realidade Aumentada num Processo de Montagem de Banco de Ensaio de Bicicleta.....368
ID42 Automatização de registos e de contagens na escolha e embalagem de uma cerâmica 374
ID43 Otimização de operações de *picking* através de uma eficiente localização do armazenamento.....389
ID44 Otimização da produção numa máquina de estampagem por aplicação da Filosofia *Lean* 395
ID45 A Integração da Transformação Digital na Gestão de Ativos nas Empresas Nacionais 411
ID46 Gestão de Operações em Fabricação Aditiva: Caso do CDRSP 420
ID47 Estratégias Avançadas na Gestão de um Armazém de Papel numa Empresa do Setor da Embalagem 434

ID04
Projeto de industrialização de um componente de uma bicicleta elétrica

Rúben Conceição ([1]), José Luís Martinho ([1,2])
ruben.cc@hotmail.com, martinho@isec.pt

([1]) Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
([2]) RCM2+, Research Centre for Asset Management and Systems Engineering

Resumo

O propósito da industrialização é, de uma perspetiva holística, preparar e definir as condições ideais para que um determinado produto seja produzido em série e, posteriormente, comercializado, desempenhando assim um papel fundamental na fase de transição entre o desenvolvimento e a vida de série.
O presente artigo descreve as diversas fases de um projeto de industrialização de um componente de uma bicicleta elétrica. Depois de se identificarem os principais objetivos a alcançar de forma a garantir o sucesso do projeto, definiu-se a metodologia para os atingir. Numa fase inicial, depois de contratualizado o negócio, foram definidas as premissas fundamentais para o desenvolvimento do projeto, derivadas da interação entre cliente e fornecedor, sendo discutidas medidas e propostas principalmente ao nível das infraestruturas da linha de produção e da sua capacidade produtiva. Com o decorrer do projeto, foram realizadas diversas iterações e *Sample Runs*, onde foram sendo desenvolvidas melhorias e otimizações ao sistema, procurando atingir os objetivos definidos. Estas iterações foram fortemente condicionadas pela flutuação das previsões de venda do cliente, derivadas do contexto de incerteza geopolítica e instabilidade dos mercados económicos, o que fez variar a necessidade produtiva e o volume de negócio.
Ao longo do projeto, efetuou-se a recolha e análise de dados que permitiu identificar algumas oportunidades de melhoria que, depois de implementadas e validadas, se refletiram em ganhos de performance, evidenciando desta forma a importância da metodologia seguida.

Palavras-Chave: Industrialização, melhoria contínua, *layout*, análises de capacidade, tempo de ciclo, balanceamento

1. Introdução

A industrialização de um produto envolve o planeamento e definição das condições ideais para o seu fabrico e consequente comercialização, servindo como ponte de ligação entre a fase de desenvolvimento e a produção em série, e enfrentando desafios como competição global, redução do tempo de lançamento e custos.
A gestão de um projeto de industrialização deve ser estruturada de forma a assegurar alguns aspetos, de acordo com a fase do projeto, entre os quais o planeamento segundo as necessidades e exigências do cliente, o *design* e desenvolvimento do produto e dos processos produtivos, e a sua validação pré-lançamento. Ao longo de todas estas etapas deve ser considerada a procura sistemática da análise e redução de variabilidade dos processos, correções ao produto e a melhoria contínua. Neste seguimento, surge a necessidade de implementação de metodologias que suportem a abordagem iterativa do projeto.
O presente artigo descreve o projeto de industrialização de um componente de bicicleta elétrica, destacando as diversas etapas do projeto, desde a identificação de problemas até a implementação de melhorias e validação de resultados. Foram definidas premissas com base na interação cliente-fornecedor, focadas na análise de *forecasts*, tempos de ciclo, balanceamento de capacidades e *layout* da linha de produção. Durante o projeto, diversas iterações e Sample Runs foram realizadas, permitindo otimizações suportadas por metodologias de observação e análise de dados.

2. Enquadramento teórico

2.1. Design For Manufacture and Assembly (DFMA)

O DFMA (Design for Manufacture and Assembly), é um conjunto de ferramentas utilizado para analisar e entender o custo de *design* de um produto e das suas partes constituintes. Esta abordagem visa otimizar o *design*, a escolha dos materiais e das operações de montagem do produto numa fase inicial do projeto, facilitando a introdução de

alterações e melhorias. O DFMA divide-se em Design for Manufacturing (DfM), que se foca nas peças e componentes constituintes do produto, e Design for Assembly (DfA), que aborda os processos de montagem do mesmo (Bogue, 2012).
O DfM é uma prática com pelo menos 200 anos de existência, inicialmente aplicada na fabricação de armas em França, e procura criar componentes mais fáceis, baratos e eficientes de serem produzidos, considerando seu impacto no custo final do produto e sua conformidade com as normas e padrões inerentes ao seu ambiente (Molloy, Warman, & Tilley, 2012). O DfA, por sua vez, visa minimizar os custos de manufatura, projetando produtos que possam ser assemblados de forma económica, *designs* com menos peças e de fácil montagem (Emmatty & Sarmah, 2012).
Durante a industrialização, são realizados *workshops* de DFMA, envolvendo áreas como R&D (Research & Development), produção, compras e qualidade, onde são analisadas a sequência de montagem, os componentes, variantes e desenhos técnicos, obtendo-se a informação necessária para os processos de assemblagem e respetivas validações.

2.2. Value Stream Planning (VSP)

O *Value Stream* (cadeia de valor) representa a sequência de ações necessárias para produzir e fornecer um produto ou serviço, incluindo todas as atividades com e sem valor agregado. Pode ser representado ao nível de processos específicos, empresariais ou inter-empresariais (Setiawan, Tumanggor, & Purba, 2021). Por Value Stream Planning entende-se todo o conceito de planeamento da cadeia de valor, incluindo fluxos de material e de informação, assim como todas as nuances que daí derivam.
O Value Stream Map (VSM) e Value Stream Design (VSD) são ferramentas de análise e visualização, que procuram desenvolver sistemas de produção Lean e implementar melhoria (Haefner, Kraemer, Stauss, & Lanza, 2014). O VSM mapeia a cadeia de valor no seu estado atual, destacando etapas críticas e identificando desperdícios. Para mapear a situação atual de uma cadeia de valor é necessário (Project Management Institute, 2021):

- Percorrer o fluxo pessoalmente de “cais a cais”;
- Analisar a cadeia sempre no sentido contrário ao fluxo de material (da expedição para a receção);
- Mapear o fluxo de material e de informação com os símbolos standard;
- Registar os dados atuais (não utilizar dados standard ou estimativas).

O VSD, por outro lado, define o estado futuro, usando planos de ação para eliminar os desperdícios identificados no VSM, tornando o processo mais eficiente (Peitzker, 2016). Estas duas ferramentas são aplicadas de forma cíclica e sistemática, tendo por isso uma especial importância em contexto de industrialização.
A aplicação destas ferramentas inicia-se com a realização de um *workshop* para o qual se reúnem dados de algumas premissas tais como o volume de negócio, *forecast* de vendas, duração do projeto e ciclo de vida esperado para o produto, identificação da família do produto e outras variantes, etc. É também feita uma análise à capacidade técnica da linha, tendo em conta o tempo de ciclo dos processos e o *takt-time* do cliente (Setiawan, Tumanggor, & Purba, 2021).
O tempo de ciclo (TC) é o tempo necessário para completar uma tarefa na linha de produção, considerando o tempo de atividades manuais e automáticas. A capacidade de um processo, por sua vez, é o seu *output* horário, isto é, o total de unidades produzidas a dividir pelo número de horas de produção (Roldão & Ribeiro , 2014). O *takt-time*, derivado do termo alemão "ritmo", representa a taxa ideal de produção para atender à procura do cliente (Rother, Shook, Womack, & Jones, 1999). O *target cycle time* é o tempo de ciclo alvo, que deve ser inferior ao *takt-time* para garantir a entrega adequada dos pedidos, considerando eventuais paragens da linha e perdas de performance (Takeda, 2006).

2.3. Lean Line Design (LLD)

O Lean Line Design (LLD) é uma ferramenta utilizada para projetar e redesenhar linhas de produção tendo por base alguns dos princípios *Lean*, com foco em garantir um fluxo contínuo, qualidade, trocas rápidas e flexibilidade. O seu objetivo é auxiliar a configurar linhas de produção eficientes e adaptáveis às variações na procura, eliminando atividades que não agregam valor, tais como o excesso de *stock* e os tempos de espera desnecessários (Anand, Ramdas Chandrashekar, & Prasanna Chander, 2013).
O processo inicia-se com base nos dados derivados do Value Stream Mapping (VSM), detalhando-se os tempos de cada operação (manuais e automáticas) em cada estação de trabalho e estabelecendo-se a comparação entre a capacidade técnica da linha e o *target cycle time,* de forma a calcular o número de estações de trabalho necessárias. Esta premissa sugere que podem ser feitos ajustes para equilibrar a linha de produção, sendo que se pode optar por investir num aumento de estações de trabalho caso o objetivo seja reduzir o tempo de ciclo (Sivasankaran & Shahabudeen, 2014).

Além de serem feitas estimativas das dimensões das estações de trabalho, máquinas e equipamentos da linha, são também consideradas premissas tais como o tamanho dos contentores de matéria-prima, acessos de manutenção e particularidades do manuseamento dos produtos (Robert Bosch GmbH, 2023).
Balancear uma linha de produção envolve uniformizar o tempo de ciclo em todas as operações subsequentes, procurando maximizar-se o *output* através da minimização de *bottlenecks* e outros desequilíbrios (Dembogurski, de Oliveira, & Neumann, 2008).
Davis, Chase, & Aquilano (2001) definem as seguintes etapas para o balanceamento de uma linha de produção:

- Especificar a relação sequencial entre as operações, utilizando um diagrama de precedência;
- Determinar o *target cycle time*;
- Determinar o número mínimo teórico de estações de trabalho;
- Selecionar uma regra básica na qual as tarefas têm de ser alocadas às estações de trabalho e uma regra secundária para desempatar;
- Delegar tarefas, uma de cada vez, à primeira estação, até que a soma dos tempos seja igual ao tempo de ciclo desejado. Repetir o processo nas estações seguintes;
- Avaliar a eficiência da linha.

A eficiência do balanceamento é calculada pela razão entre o somatório dos tempos de ciclo de todas as operações, e o número de estações de trabalho multiplicado pelo tempo de ciclo da estação mais demorada (o *bottleneck*). Em linhas com baixo nível de automação e onde prevalecem os processos manuais, o tempo de ciclo corresponde ao tempo do operador mais demorado, sendo a eficiência calculada de maneira semelhante (Roldão & Ribeiro , 2014).

2.4. *Sample Runs*

Durante a fase de industrialização na empresa, são realizados *Sample Runs*, que consistem na produção de lotes controlados de amostras para testar e validar parâmetros do produto e processos, de forma iterativa. Esses *Sample Runs* são geralmente divididos em A, B, C e D, espaçados ao longo do tempo, podendo o período de industrialização variar conforme o projeto.

- **A-*Run:*** Geralmente realizado pelo R&D em laboratório com pequenas prototipagens e parâmetros teóricos. É a primeira iteração do produto, onde se define a Bill of Material [1](BoM) inicial e se realizam sessões de DFMA, VSP e LLD.
- **B-*Run:*** Primeiro *run* realizado em fábrica, onde são produzidas pequenas quantidades para validar processos de assemblagem e identificar melhorias no produto e nos processos. Define-se um *layout* inicial da linha de produção, considerando tempos de ciclo teóricos. No fim, é emitido um *Sample Run* Report onde se documentam todas as conclusões, que seguem juntamente com as amostras para o cliente.
- **C-*Run:*** Produção de grandes quantidades para amostragem, incorporando melhorias identificadas no B-*Run*. Estas melhorias podem incluir alterações ao *design* e materiais do produto, de forma a melhorar qualidade e robustez, além de otimizações dos processos produtivos e investimentos em automação. Isto pode resultar em mudanças no *layout*, número de estações de trabalho e número de operadores necessário.
- **D-*Run:*** Última iteração antes da produção em série, onde se espera estar quase tudo definido, faltando resolver problemas residuais. São feitas amostras para validação final do cliente.

Concluídos os *Sample Runs*, inicia-se o *Start of Production* (SoP) - transição do projeto para a produção em série. Nesta fase, a equipa de industrialização acompanha a transição, passando a focar-se na resolução de problemas diários e na melhoria contínua para atender às encomendas de cliente e otimizar a qualidade, o custo e a entrega.

3. Desenvolvimento do caso de estudo

3.1. O produto

O produto mencionado neste relatório consiste num *display* para bicicleta elétrica, que serve de *interface* de visualização para o utilizador e que, em conjunto com outros componentes do mesmo sistema inteligente (bateria, motor, unidade de controlo e *software*), permitem funcionalidades tais como o registo de atividade física, a otimização de itinerários, diferentes modos de travagem, bloqueio e alarme controlados remotamente, entre outras. A figura 1 mostra uma vista explodida do produto.

[1] Lista de componentes e matéria-prima necessários para construir um determinado produto.



Figura 1 - Vista explodida do produto

3.2. Início do projeto

Assim que o projeto foi adjudicado, iniciou-se uma série de *workshops*, onde as equipas de R&D e da fábrica se reuniram com o propósito de encontrar a abordagem que fizesse mais sentido para a industrialização do produto. Neste cenário, a equipa de R&D era responsável pelo desenvolvimento do produto, sendo por isso o **cliente**, enquanto que a fábrica era responsável pela sua produção em série, assumindo o papel de **fornecedor**. O processo de industrialização ocorreu, portanto, de forma colaborativa entre estas duas equipas.

3.2.1. Design For Manufacturing and Assembly

Depois de apresentado, pela equipa de R&D, o primeiro conceito de produto, realizou-se um *workshop* de DFMA. Numa primeira fase, foram discutidos tópicos relacionados com os componentes do produto, as suas matérias-primas e eventuais fornecedores. Depois de considerar e analisar os *inputs* dados pela equipa da fábrica, a equipa de R&D finalizou o *design* do produto.
Todos os componentes do produto (nos quais se incluem o seu *software*), componentes eletrónicos e material de embalagem, foram incluídos na BoM (Bill of Material) do produto, gerida e consultada no *software* SAP ERP.
Já numa segunda fase, foram definidos os processos tecnológicos para o fabrico do produto, considerando não apenas as suas especificações técnicas, mas também a possibilidade de replicar processos já existentes em outras linhas da fábrica, de forma a aproveitar o conhecimento e *expertise* das equipas e, eventualmente, máquinas e equipamentos já existentes. A tabela 1 mostra os diversos processos ao longo da linha de montagem final.

Tabela 1 - Processos de montagem final do produto

PROCESSO	DESCRIÇÃO
Teste de PCBA	Programação de *software* de teste na memória, introdução do número de série e teste funcional à PCBA
Soldadura	Soldadura ultrasónica do Conector CAN com o Bottom Housing
Prensagem	Assemblagem da Membrana de ventilação no Bottom Housing com recurso a uma prensa pneumática
Aparafusamento	Aparafusamento da PCBA com o Bottom Housing
Teste de contacto	Medição da continuidade elétrica entre o Conector CAN e a PCBA
Montagem do Display	Colagem do adesivo no Bottom Housing, conexão do Display com a PCBA e colagem no Bottom Housing
EOL (End of Line) Test 1	Validação do conteúdo escrito na memória da PCBA, teste funcional ao Display e ao *buzzer* [2]da PCBA
EOL (End of Line) Test 2	Programação da app final
Teste de estanquidade	Teste de estanquidade por queda de pressão
Gravação laser	Gravação a laser do código de rastreabilidade do produto e informação relativamente ao cliente e ao produto, no Bottom Housing
Embalagem	Embalagem do produto

[2] Componente eletrónico que permite ao dispositivo reproduzir som.

3.2.2. Value Stream Planning

Depois de definidas as especificações técnicas do produto no DFMA, realizou-se o Value Stream Planning para definir todos os passos do fluxo de materiais e de informação ao longo da cadeia de valor, desde o pedido do cliente até a entrega.
O projeto foi cotado com base numa previsão de vendas de 600 mil unidades no primeiro ano da vida de série do produto. Sendo o cálculo do *target cycle time* um dos pontos críticos do VSP, realizou-se uma análise para calcular o *takt-time* do cliente e, em seguida, o *target cycle time* da linha para produzir as 600 mil unidades previstas.
A estratégia da empresa apontava para que a linha funcionasse a 3 turnos de produção, totalizando um POT (Planned Operation Time) de 22,2 horas úteis diárias (descontando intervalos e pausas de almoço), com um coeficiente de sazonalidade de 12/9. Este coeficiente indica que a linha deve ser capaz de produzir em 9 meses o que se pretende vender em 12, servindo como margem de segurança. Assim, a linha teria de estar capacitada para produzir 800 mil unidades no primeiro ano (600.000 × 12/9).
Considerando 233 dias úteis de produção anual, a produção média diária necessária seria de 3.433 unidades/dia. Com base neste valor, calculou-se o *takt-time,* como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo do takt-time para produção a 3 turnos

HORÁRIO DE TURNOS	POT (HORAS/TURNO)	POT (SEGUNDOS/TURNO)
Turno 1 (01:00h-08:00h)	6,7	24 120
Turno 2 (08:00h-16:30h)	7,75	27 900
Turno 3 (16h30h-01:00h)	7,75	27 900
Total	22,2	79 920
Quantidade/dia	3 433 unidades	
Takt-time a 3 turnos	23,3 segundos/uni	

O *target cycle time* foi calculado considerando um OEE [3](Overall Equipment Effectiveness) de 90%, para contemplar eventuais paragens de máquina, mudanças de *setup*, unidades retrabalhadas e perdas de *performance* no geral. Assim, adaptou-se a fórmula utilizada para calcular o *takt-time,* considerando apenas 90% do POT (71 928 segundos/turno), o que resultou num *target cycle time* de 20,9 segundos/unidade.
Uma vez conhecido o *target* para o tempo de ciclo da linha, prosseguiu-se com o mapeamento dos processos de assemblagem ao longo da cadeia, como requisito do VSP, tendo sido feita uma estimativa do tempo de ciclo de cada processo com base no conhecimento existente na equipa de projeto relativamente a processos tecnológicos semelhantes, anteriormente utilizados noutras linhas da fábrica. Posteriormente, organizaram-se os processos em estações de trabalho, sendo que, por questões de compatibilidade de tempo de ciclo e sequenciamento de operações, se optou por agregar os processos de Prensagem e Aparafusamento na mesma estação de trabalho. A tabela 3 mostra a alocação dos processos por estação de trabalho e o respetivo tempo de ciclo estimado.

Tabela 3 - Tempo de ciclo de cada estação de trabalho

ESTAÇÃO DE TRABALHO	TEMPO DE CICLO (S)
Teste de PCBA	65
Soldadura	11,6
Prensagem + Aparafusamento	50
Teste de contacto	44
Montagem do display	65
EOL Test 1	44
EOL Test 2	110
Teste de estanquidade	54
Gravação Laser	11
Embalagem	6,1

[3] Indicador de produtividade que mede a performance e paragens das máquinas e equipamentos da linha.

3.2.3. Lean Line Design (LLD)

O Lean Line Design começou com uma análise de capacidade das estações de trabalho necessárias para a linha de produção. Como constatado no VSP, a maioria das estações de trabalho não apresentava capacidade suficiente, uma vez que seu tempo de ciclo ultrapassava o *target cycle time* de 20,9 segundos/unidade. Neste cenário, mesmo dedicando um operador a 100% a cada estação, o *bottleneck* da linha seria de 110 segundos/unidade, associado à estação mais demorada – o EOL Test 2.
Para atender às necessidades de *output* do projeto, optou-se pelo investimento na replicação de alguns processos. Com isso, seria possível aumentar a produção no mesmo intervalo de tempo e reduzir o tempo de ciclo unitário de cada estação.
Realizou-se uma análise de capacidade para calcular o número de replicações necessárias para que o tempo de ciclo unitário de cada estação ficasse abaixo dos 20,9 segundos/unidade.

Tabela 4 - N. º de estações de trabalho e tempo de ciclo por peça

ESTAÇÃO DE TRABALHO	TEMPO DE CICLO (S)	QUANTIDADE	TEMPO DE CICLO UNITÁRIO (S/UNIDADE)
Teste de PCBA	65	4	16,3
Soldadura	11,6	1	11,6
Prensagem + Aparafusamento	50	3*	16,67
Teste de contacto	44	3*	14,7
Montagem do display	65	4	16,25
EOL Test 1	44	3*	14,7
EOL Test 2	110	6*	18,3
Teste de estanquidade	54	3*	18
Gravação Laser	11	1	11
Embalagem	6,1	1	6,1

Ao analisar o número de estações de trabalho necessárias, identificou-se uma tendência para que algumas estações se multiplicassem por 3 (ou múltiplos de 3), como referenciado com um asterisco na tabela 4. Assim, definiu-se a estratégia de montar uma linha de produção tripla.
As estações de trabalho manuais têm, por norma, um menor custo quando comparado com as estações automáticas, dado o seu menor nível de complexidade. Neste sentido, e para que a disposição das estações permitisse configurar um *layout* coerente, optou-se por investir na replicação extra do processo de Montagem do Display, que embora fosse capacitário com apenas 4 estações, passou assim para 6, permitindo agrupar 2 em cada um dos segmentos da linha tripla (tabela 5).

Tabela 5 - Investimento em 2 estações adicionais para a Montagem do Display

ESTAÇÃO DE TRABALHO	QUANTIDADE
Montagem do display	6

Com a quantidade exata de estações de trabalho definida, a figura 2 mostra o primeiro esboço da configuração planeada para o *layout* da linha, com uma ocupação de chão-de-fábrica estimada de 37 m².

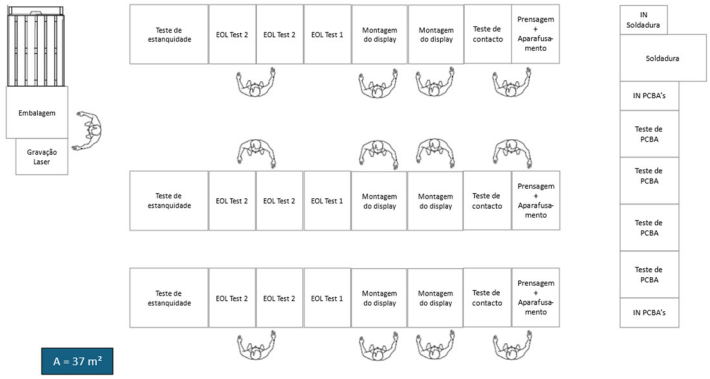


Figura 2 - Primeiro esboço do layout planeado para a linha de produção

3.3. B-*Sample Run*

Alguns meses à frente no tempo decorreu o B-*Sample Run*, onde foram assembladas as primeiras amostras em fábrica, num lote controlado de 600 unidades.
O desenvolvimento das máquinas, JIGs e equipamentos de teste definidos no *workshop* de DFMA foi requisitado a um leque de fornecedores de automação, robótica e instrumentação, num processo que envolveu a documentação em caderno de encargos de todas as especificações técnicas, tanto do produto quanto dos equipamentos.
Devido à complexidade dos equipamentos, o tempo necessário para o seu desenvolvimento impossibilitava a sua disponibilidade para este *Run* e, por isso, foram utilizados equipamentos provisórios, desenvolvidos internamente pelas equipas de engenharia, de forma a assegurar os prazos do projeto. Assim, montou-se apenas um dos segmentos da linha tripla garantindo, pelo menos, uma estação de trabalho para cada processo, resultando numa ocupação de 19 m², como mostra a figura 3.

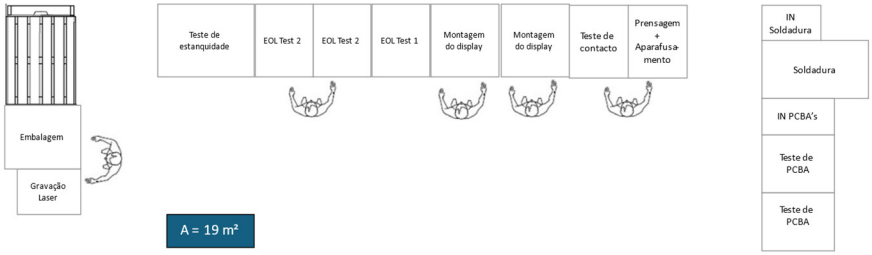


Figura 3 - Layout utilizado no B-Sample Run

A produção das 600 unidades realizou-se com apenas um operador na linha e foram medidos os tempos de ciclo reais de todos os processos por cronometragem e observação direta. A tabela 6 apresenta uma comparação entre os tempos de ciclo teóricos assumidos no Value Stream Planning (VSP) e os tempos reais obtidos no B-*Sample Run*.

Tabela 6 - Tempos de ciclo obtidos no B-Sample Run

ESTAÇÃO DE TRABALHO	TC (S) (VSP)	TC (S) (B-RUN)
Teste de PCBA	65	65
Soldadura	11,6	12,1
Prensagem + Aparafusamento	50	68
Teste de contacto	44	36
Montagem do display	65	51
EOL Test 1	44	55
EOL Test 2	110	110
Teste de estanquidade	54	37
Gravação Laser	11	18
Embalagem	6,1	9

3.4. C-*Sample Run*

Após a conclusão do B-*Sample Run*, a procura do mercado passou por um período de variações consideráveis, muito afetadas pelo clima de instabilidade geopolítica e crise inflacionária, o que levou o cliente a considerar um atraso no lançamento do novo produto e, por isso, foi feita uma revisão à previsão de vendas para o primeiro ano de produção, que se reduziu de 600 mil para 300 mil unidades. Com este novo valor, recalculou-se o *takt-time* de forma a reajustar a capacidade da linha de produção, utilizando para isso a mesma fórmula matemática aplicada no VSP, e obtendo-se um novo *takt-time* de 46,5 segundos/unidade e um novo *target cycle time* de 41,9 segundos/unidade.
Para o C-*Sample Run* era esperada uma maior maturidade, tanto dos operadores quanto dos equipamentos de produção. Os JIGs finais substituíram os provisórios do B-*Sample Run*, de forma a reduzir os tempos de ciclo e aumentar a qualidade dos processos. Foi planeado um lote de 1200 unidades.

Para preparar este *Run* foram implementadas as seguintes alterações:

- Os processos de Prensagem e Aparafusamento, executados até então na mesma estação de trabalho e totalizando um tempo de ciclo agregado de 68 segundos, foram separados em estações diferentes, resultando numa estação de Prensagem com 18 segundos e uma estação de aparafusamento com 50 segundos;
- A ordem do Teste de estanquidade e dos testes EOL foi invertida, sendo que o Teste de estanquidade passou a ser realizado a seguir ao fecho do produto, por motivos de controlo de qualidade.

Com a redução de *forecast* mencionada e o novo *target cycle time* de 41,9 segundos/unidade, foi também feita uma reavaliação à capacidade necessária para a linha, ao nível do número de estações, percebendo-se que apenas seria necessário replicar o EOL Test 2, sendo que as restantes estações apresentavam capacidade suficiente de forma individual (com base nos tempos obtidos no B-*Sample Run*).
Para o C-*Sample Run* foram disponibilizados dois operadores e, por isso, foi necessário definir a melhor sequência de tarefas para cada um. Listaram-se os tempos de ciclo de todos os processos, distinguindo-se o tempo automático e manual, sendo que este último totalizou 224,1 segundos (correspondente à atividade do operador).
Definiu-se o balanceamento ótimo ao alocar tarefas com um tempo acumulado de 110 segundos ao Operador 1 e 114,1 segundos ao Operador 2, sendo este último o *bottleneck* e representado, por isso, o tempo de ciclo da linha. Esse valor, ainda distante do *target* de 41,9 segundos, indicava a possível necessidade de aumentar o número de operadores, caso os tempos manuais não fossem otimizados até à produção em série.
Assim, o conceito de linha tripla foi descartado e o *layout* da linha montada para o C-*Sample Run* assumiu a configuração mostrada na figura 4, com a representação, a cores, do balanceamento dos operadores.

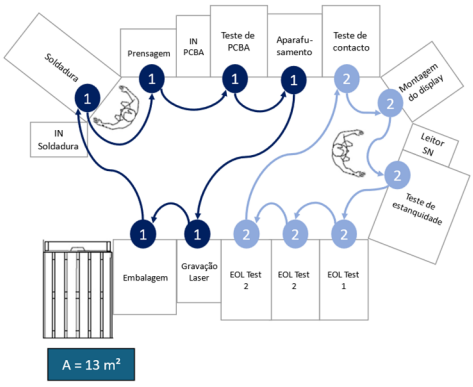


Figura 4 – Layout e balanceamento utilizado no C-Sample Run

Realizou-se a produção das 1200 unidades e foram medidos os tempos de ciclo reais de todos os processos por cronometragem e observação direta, onde se observaram algumas melhorias devido ao uso dos JIGs finais, que permitiram uma maior robustez de execução dos processos. A tabela 7 apresenta uma comparação entre os tempos reais obtidos no C-*Sample Run* e nas fases anteriores do projeto.

Tabela 7 - Tempos de ciclo obtidos no C-Sample Run

ESTAÇÃO DE TRABALHO	TC (S) (VSP)	TC (S) (B-RUN)	TC (S) (C-RUN)
Teste de PCBA	65	65	40
Soldadura	11,6	12,1	9
Prensagem	50	68	18
Aparafusamento			34
Teste de contacto	44	36	36
Montagem do display	65	51	42
EOL Test 1	44	55	55
EOL Test 2	110	110	110
Teste de estanquidade	54	37	30
Gravação Laser	11	18	14
Embalagem	6,1	9	9

3.5. D-*Sample Run*

Depois de finalizado o C-*Sample Run*, a perspetiva de mercado continuava a não ser otimista e, ao não estar a atingir os resultados de vendas desejados para o produto antecessor, o cliente voltou a atualizar o *forecast* para o primeiro ano de produção, registando uma nova descida, de 300 mil para 228 mil unidades, resultando assim num novo *target cycle time* de 55 segundos/unidade.
Para o D-*Sample Run*, a expetativa era de que a linha apresentasse condições muito perto daquilo que seria o ideal, visto ser o último *Run* antes da transição para a vida de série. Nesta fase, foi planeada uma produção de um lote de 1300 unidades.
O *Run* anterior registou uma ligeira subida na taxa de rejeição de unidades, o que preocupou a equipa dada a fase do projeto em que este problema surgia. Assim, a equipa inseriu uma estação de inspeção, à qual chamou Teste Subjetivo, de forma a garantir um controlo de qualidade mais apertado. Para este processo foi estimado, *à priori*, um tempo de ciclo de 40 segundos, que se considerou para efeitos de preparação do D-*Sample Run.*
Para o D-*Sample Run* foram disponibilizados quatro operadores e, por isso, foi necessário definir a melhor sequência de tarefas para cada um. Listaram-se os tempos de ciclo de todos os processos (considerando os valores obtidos no *Run* anterior e incluindo a estimativa para o Teste Subjetivo), distinguindo-se o tempo automático e manual, sendo que este último totalizou 221 segundos (correspondente à atividade do operador).
Num cenário hipotético considerando uma taxa de eficiência de balanceamento de 100%, seria possível dividir igualmente este valor por 4 operadores, sendo que cada um demoraria 55,25 segundos a completar o seu *loop* de tarefas.
Este valor, embora ligeiramente mais lento que os 55 segundos de *target*, estava bastante próximo do desejado e, por isso, em vez de se recorrer ao aumento do número de operadores, procurou-se a otimização dos processos de forma a conseguir reduzir este valor.

Duas melhorias foram propostas:

- Foi proposto um novo formato de embalagem para as Membranas, passando de folha de plástico para rolo, com vista a minimizar os movimentos manuais na picagem e, com isso, reduzir o tempo de ciclo da estação de Prensagem de 18 para 8 segundos;
- Integrar os testes EOL 1 e 2 num único equipamento, originando três estações de EOL Test genéricas, permitindo reduzir o tempo de ciclo unitário para 53 segundos ao eliminar 6 segundos de tempo manual na alimentação do teste.

Estas duas propostas de melhoria careciam de validação durante o D-*Sample Run* e, por isso, o balanceamento dos operadores foi feito considerando ainda os valores do *Run* anterior. Assim, definiu-se o balanceamento ótimo ao alocar tarefas com um tempo acumulado de 58 segundos aos Operadores 1 e 2, 48 segundos ao Operador 3 e 51 segundos ao Operador 4, sendo os dois primeiros o *bottleneck* e representado, por isso, o tempo de ciclo da linha.
A figura 5 mostra o *layout* da linha utilizado no D-*Sample Run,* com a representação, a cores, do balanceamento dos operadores.

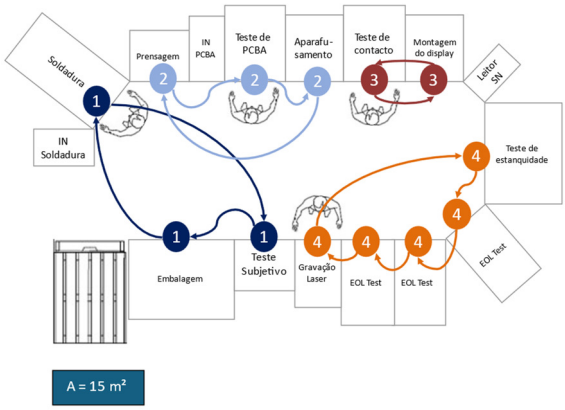


Figura 5 - Layout e balanceamento utilizado no D-Sample Run

Realizou-se a produção das 1300 unidades e foram medidos os tempos de ciclo reais de todos os processos por cronometragem e observação direta, tendo sido a iteração com melhores resultados ao longo de toda a industrialização, o que colocava o arranque da produção em série sob uma perspetiva bastante otimista. A tabela 8 apresenta uma comparação entre os tempos reais obtidos no D-*Sample Run* e nas fases anteriores do projeto.

Tabela 8 - Tempos de ciclo obtidos no C-Sample Run

ESTAÇÃO DE TRABALHO	TC (S) (VSP)	TC (S) (B-RUN)	TC (S) (C-RUN)	TC (S) (D-RUN)
Teste de PCBA	65	65	40	40
Soldadura	11,6	12,1	9	9
Prensagem	50	68	18	11
Aparafusamento			34	34
Teste de contacto	44	36	36	36
Montagem do display	65	51	42	42
EOL Test 1	44	55	55	53
EOL Test 2	110	110	110	
Teste de estanquidade	54	37	30	14
Gravação Laser	11	18	14	31
Embalagem	6,1	9	9	9

3.6. Transição para SoP

Finalizado o D-Sample Run, o projeto entrou na fase de SoP (Start of Production), com um plano de *ramp-up* para aumentar gradualmente a produção. No primeiro mês, a linha funcionou com 2 operadores, produzindo 36 peças/hora. Embora tenha contado com operadores já experientes e que tinham trabalhado noutras etapas do projeto, foram também integrados novos colaboradores na linha, o que, naturalmente, gerou uma quebra de *performance* dada a sua inexperiência. Assim, o OEE planeado de 90% não foi atingido imediatamente, o que era expectável e tinha sido previamente alinhado com o cliente, sendo que ainda assim todas as encomendas foram entregues no final do mês.
O projeto foi então transferido para a produção e a equipa de suporte manteve-se a mesma, de forma a garantir a resolução de problemas e a procura de melhorias contínuas.

4. Conclusão

Terminado o projeto, é de realçar que os objetivos propostos foram alcançados com sucesso, demonstrando-se assim a eficácia da metodologia implementada, que abordou problemas de forma robusta e iterativa, promovendo a redução de desperdícios e a otimização do sistema industrial.
Um dos principais desafios foi garantir o envolvimento dos operadores na aplicação e manutenção das ferramentas, existindo, inicialmente, alguma resistência à mudança. Valorizar a opinião dos operadores, que trabalham

diretamente na linha de produção, foi crucial, aumentando a sua motivação e promovendo um bom ambiente de trabalho.
O contexto geopolítico também teve um impacto significativo nos mercados e na indústria transformadora, influenciando o projeto. As incertezas do mercado levaram o cliente a fazer ajustes frequentes, alterando o plano inicialmente definido nas fases de DFMA, VSP e LLD. Estas condicionantes exigiram uma adaptação rápida da equipa e uma gestão cuidadosa de expectativas.
A colaboração transparente entre cliente e fornecedor foi fundamental para conduzir o projeto de forma sólida, evitando investimentos desnecessários e decisões mal fundamentadas.
Conclui-se que a metodologia de industrialização adotada foi essencial para responder de maneira ágil e eficaz aos desafios e obstáculos encontrados ao longo do projeto, garantindo assim seu sucesso.

Referências

Anand, A., Ramdas Chandrashekar, & Prasanna Chander. (2013). Design and Implementation of Lean Line Concept in PE-Pump Assembly Line. SASTECH J., 21-26.

Bogue, R. (2012). Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. Assembly Automation, 32, 112-118.

Davis, M., Chase, R., & Aquilano, N. (2001). Fundamentos Da Administração Da Produção. Bookman.

Dembogurski, R., de Oliveira, M., & Neumann, C. (2008). Balanceamento de linha de produção. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro.

Emmatty, F., & Sarmah, S. (2012). Modular product development through platform-based design and DFMA. Journal of Engineering Design, 23(9), 696-714.

Haefner, B., Kraemer, A., Stauss, T., & Lanza, G. (2014). Quality Value Stream Mapping. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing. 17. Karlsruhe, Germany: Procedia CIRP.

Molloy, O., Warman, E., & Tilley, S. (2012). Design for Manufacturing and Assembly: Concepts, architectures and implementation. Springer Science & Business Media.

Peitzker, S. (2016). Lean meets Industry 4.0: Value stream thinking as denominator. Obtido em 4 de dezembro de 2023, de Bosch Digital Blog: blog.bosch-digital.com/lean-meets-industry-4-0-value-stream-thinking-denominator/

Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7.ª ed.). Project Management Institute.

Roldão, V., & Ribeiro, J. (2014). Gestão das Operações: Uma abordagem integrada. Monitor.

Rother, M., Shook, J., Womack, J., & Jones, D. (1999). Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Lean Enterprise Institute.

Setiawan, I., Tumanggor, O., & Purba, H. (2021). Value Stream Mapping: Literature Review and Implications for Service Industry. Jurnal Sistem Teknik Industri, 23.

Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73, 1665-1694.

Takeda, H. (2006). The Synchronized Production System: Going Beyond Just-in-time Through Kaizen. Kogan Page Publishers.

ID05
Novo Método de Gestão dos Tempos de Manutenção

Paulo Figueiredo ([1,2]), H. Raposo ([1,2]), J. T. Farinha ([1,2])
paulofigueiredoo@hotmail.com, hugo.raposo@isec.pt, tfarinha@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Portugal

Resumo

A elaboração de orçamentos para serviços de manutenção é dos aspetos mais importantes para a gestão de ativos físicos e maximização da vida útil dos mesmos. Neste contexto, muitas vezes os custos associados representam uma grande parte do investimento das empresas, daí que a sua otimização, coerência e eficácia sejam uma prioridade. Assim sendo, é necessário padronizar a forma como se consideram os custos. Deste modo, esta padronização pode ser um desafio, tendo em conta a maneira como cada um dos orçamentistas considera aspetos, tais como o tempo que um técnico demora a cumprir cada uma das tarefas e as dificuldades de acesso às instalações. Este critério, muitas vezes, fica entregue a juízos de valor por parte dos mesmos. Assim sendo, de forma a encontrar uma metodologia coerente para os orçamentistas, propôs-se definir, calcular e estudar os tempos de manutenção que podem ser traduzidos em tempo efetivo de manutenção e tempo não efetivo de manutenção (correspondente a todas as tarefas preparatórias e de fecho das ordens de trabalho). Neste âmbito, utilizando métodos empíricos, foi possível definir estas tipologias de mão de obra e encontrar uma ligação comum para os variados tipos de intervenções e respetivos planos.

Palavras-Chave: Tempo de Manutenção, Tempo Efetivo, Deslocação Tipo I, Deslocação tipo II, Cálculo Empírico, *CMMS*

1. Introdução

A implementação de um *CMMS* (*Computerized Maintenance Management System*) em qualquer organização ou empresas de diversos setores industriais, onde existam ativos físicos surge como uma necessidade de organizar e gerir o dia-a-dia do Departamento de Manutenção.

A implementação de um *CMMS* surge como uma oportunidade de introduzir melhorias na organização e nos procedimentos existentes. Para chegar à implementação propriamente dita existem três passos essenciais, cuja função é apoiar na decisão da ferramenta que se irá utilizar, os passos são:

- Analisar e avaliar o sistema de manutenção existente;
- Definir requisitos e objetivos do sistema a implementar;
- Implementar o novo *CMMS*.

Assim sendo, pode-se incluir no novo *CMMS* novos módulos e requisitos, tais como um módulo de Orçamentação da Prestação de Serviços da Manutenção, tendo em conta a norma NP 4492:2010 - Requisitos para a Prestação de Serviços de Manutenção.

O parâmetro base de qualquer orçamento na prestação de serviços de manutenção é o tempo. Deste modo, a prioridade de otimização da orçamentação incide na rentabilização do mesmo. A melhor maneira de alcançar esta rentabilização é perceber e, por consequente, estimar como serão distribuídas as tarefas pelo tempo de trabalho.
Os equipamentos podem ser definidos tanto pela sua função (por exemplo se é uma unidade interior de *split*) como pela sua tipologia (neste exemplo referido, pode ser de teto ou de parede). Portanto, mesmo considerando uma gama de equipamentos, podem ocorrer variadas diferenças, quer seja pelo modo de instalação quer seja pelo modo de operação ou ainda pelo meio envolvente.

Já os planos de manutenção são bastante voláteis, podendo variar mediante as características referidas no parágrafo anterior, mas também de acordo com a criticidade dos equipamentos (isto é, o quão importante é a sua operação ininterrupta para o proprietário) ou o orçamento disponível.

Para já, torna-se intuitivo perceber o quão complexa pode ser a padronização da orçamentação para serviços de manutenção, mesmo dentro de uma tipologia de equipamentos, para vários orçamentistas da mesma empresa.

Um único orçamentista, caso não tenha tempos pré-definidos por tarefa/plano, pode ter dificuldade em repetir orçamentos elaborados para o mesmo plano, na mesma instalação, em instantes diferentes. Como, por exemplo, num dia considerar que a dificuldade de acesso devido à altura a que está um equipamento - ir buscar um escadote à oficina que está dois pisos abaixo, montá-lo e voltar a arrumá-lo - traduz-se num valor temporal de 10 minutos; e, na segunda vez que repete o orçamento, considerar 15 minutos.
Na verdade, qualquer fração de tempo conta na elaboração de orçamentos de manutenção. O que numa única intervenção pode parecer insignificante, ao final de um ano pode traduzir-se em custos bastante consideráveis, uma vez que muitas das tarefas são sistemáticas.

Os custos inerentes a tarefas de manutenção provêm de diversas causas. Por exemplo, apesar de um orçamentista elaborar um orçamento na visão do prestador de serviços e, portanto, focar-se no custo de mão de obra, na realidade estes custos relacionados com o tempo de mão de obra também se podem traduzir noutros, adotando a visão do cliente. Entre eles, a título de exemplo, os custos de baixa e/ou não produção (Dienst *et al.*, 2015).
Um dos fatores chave para a elaboração de um orçamento adequado é considerar o tipo e o modelo do equipamento em que se vai intervir. Vários autores acordam que o histórico é importantíssimo quando se elabora um plano de manutenção. Inclusive, Farinha (2018) refere até o histórico dos custos de manutenção, como um dos fatores a ter em conta na aquisição de um ativo. Da mesma forma, este histórico é relevante para um orçamentista. Quanto mais dados enriquecerem estes históricos e quanto mais analisados e tratados forem, mais coerentes e precisos serão os orçamentos.
Então é necessário criar um padrão de quantificação, seja para o tempo de trabalho útil, seja para o tempo despendido com tarefas preparatórias ou de deslocações. Este segundo tempo, será sobretudo decisivo na criação de parâmetros quantitativos para o nível de dificuldade de manutenção e acesso aos equipamentos.

2. Metodologia e métodos

Em primeiro lugar, para cada equipamento, o objetivo é reunir o máximo de amostras de planos de manutenção executados e cronometrados no terreno. Esta cronometragem será metódica e precisa, visando a divisão entre tempo efetivo e tempo não efetivo de trabalho.
O tempo efetivo de trabalho (t_e), consiste no tempo rentável (ou seja, tempo efetivo de manutenção). O tempo não efetivo de trabalho (t_r) incide no tempo remanescente do dia de trabalho do operador. Deste modo, apenas é necessário cronometrar o tempo efetivo, visto que o remanescente é a diferença com o número de horas do dia de trabalho do operador (t_{mdo}), que será definido pela hora de entrada (h_e) e a hora de saída (h_s), como se pode constatar nas equações 1.1 e 1.2. Por uma questão de contextualização, a unidade de tempo destes cálculos é o minuto:

$$t_{mdo} = h_s - h_e \tag{1.1}$$

$$t_r = t_{mdo} - t_e \tag{1.2}$$

Esta distinção e parametrização será necessária para que, independentemente do plano de manutenção que está a ser executado, se possa prever e relacionar o tempo efetivo de trabalho que cada intervenção durará. Além desta vantagem, com o aumento do número de dados recolhidos e respetiva análise e tratamento, será ainda possível relacionar inúmeros fatores com o tempo não efetivo de trabalho, entre outros fatores que possam ser identificados, à medida que se exploram todos os planos de manutenção e instalações:

- O técnico que irá executar as intervenções;
- O tempo médio que o técnico demora a percorrer uma determinada distância a pé (deslocações de tipo II);
- Dificuldade de acesso imposta:
    - Tipologias de trabalho em altura;
    - Sistemas mal localizados e arquitetonicamente mal projetados.

Mediante o tipo de equipamento e planos de manutenção correspondentes pode ainda ser estudada a relação entre o tipo de tarefas com o tempo efetivo de trabalho para essa mesma tipologia. Agrupando as tarefas pela seguinte classificação: tarefas de verificação (e.g. a verificação visual do estado geral de conservação do equipamento), tarefas de medição (e.g. recorrendo a equipamentos de medição como pinças amperimétricas ou varetas para medição do nível de óleo), tarefas de limpeza e tarefas "outras" (no caso de não serem classificáveis como nenhuma das anteriores).

Por uma questão de organização, para a análise e tratamento de dados criaram-se tabelas em Excel, onde cada folha de cálculo corresponde a uma tipologia de equipamento e onde se registou o histórico de planos de manutenção cronometrados (podendo e devendo conter tarefas, organização e criticidade diferentes). Este registo contempla os seguintes fatores:

- Tempo total efetivo de trabalho;
- Tempo total efetivo de trabalho mediante a tipologia de intervenção;
- Número de tarefas;
- Número de tarefas por tipologia de intervenção;
- Tempo médio para cada um dos registos.

Este registo e respetivos cálculos permitirão estimar, mediante o tipo de equipamento e o número e tipo de intervenções, o tempo efetivo total de trabalho. Ou, por outro lado, caso se pretenda executar um plano de manutenção, para um determinado tempo efetivo disponível, quanto tempo efetivo estará, em média, disponível para cada tipologia de tarefa.
Para além disso registou-se, por questões de análise estatística, a percentagem de tempo efetivo de trabalho que cada tipologia de tarefa ocupa nos planos considerados.

Na figura 1 está representada a parte da folha de cálculo de teste para planos de manutenção de Unidades Exterior *Split* onde é inserido o histórico de tempos registados. Nas figuras 2 e 3 está apresentada a parte dos resultados obtidos mediante a intenção do utilizador.
As células sombreadas a castanho-claro representam os dados inseridos pelo utilizador e, as células a branco o resultado dado pelas fórmulas inseridas na folha de cálculo. É importante realçar que quantas mais amostras for possível recolher e registar, mais reais serão as estimativas de tempo e tarefas, e que as figuras 1, 2 e 3 não contém nenhum valor real, mas sim, meramente demonstrativo.

Contrato	Nº Tarefas Verificação (ntv)	Nº Tarefas Limpeza (ntl)	Nº Tarefas Medição (ntm)	Nº Tarefas Outro (nto)	Tempo Verificação (tv)	Tempo Limpeza (tl)	Tempo Medição (tm)	Tempo Outro (to)	Tempo Médio Verificação (tmv)	Tempo Médio Limpeza (tml)	Tempo Médio Medição (tmm)	Tempo Médio Outro (tmo)	Tempo efetivo de Trabalho (te)
Teste	2	5	6	1	1	20	12	4	0.5	4	2	4	37

Tempo Total Médio Registado (rTTM)	37.000
Tempo Médio Outro (rTMO)	4.000
Tempo Médio Medição (rTMM)	2.000
Tempo Médio Limpeza (rTML)	4.000
Tempo Médio Verificação (rTMV)	0.500

Percentagem Verificação (%rTV)	Percentagem Limpeza (%rTL)	Percentagem Medição (%rTM)	Percentagem Outro (%rTO)
2.7027%	54.0541%	32.4324%	10.8108%

Split UE

Figura 1 - Registo e análise estatística e numérica dos tempos efetivos de manutenção registados para uma Unidade Exterior Split (UE)

Dados Manutenção	
Nº Tarefas Verificação (ntv)	3
Nº Tarefas Limpeza (ntl)	2
Nº Tarefas Medição (ntm)	6
Nº Tarefas Outro (nto)	4

Tempo Estimado (min)	
Tarefas Verificação (tve)	1.5
Tarefas Limpeza (tle)	8
Tarefas Medição (tme)	12
Tarefas Outro (toe)	16

	Minutos	Horas
Tempo Total Estimado (tte): BASE TEMPO E Nº TAREFAS TIPO	37.5	0.625

Figura 2 - Dados estimados através do histórico de tempos efetivos de manutenção registados, considerando um número de tarefas imposto pelo utilizador

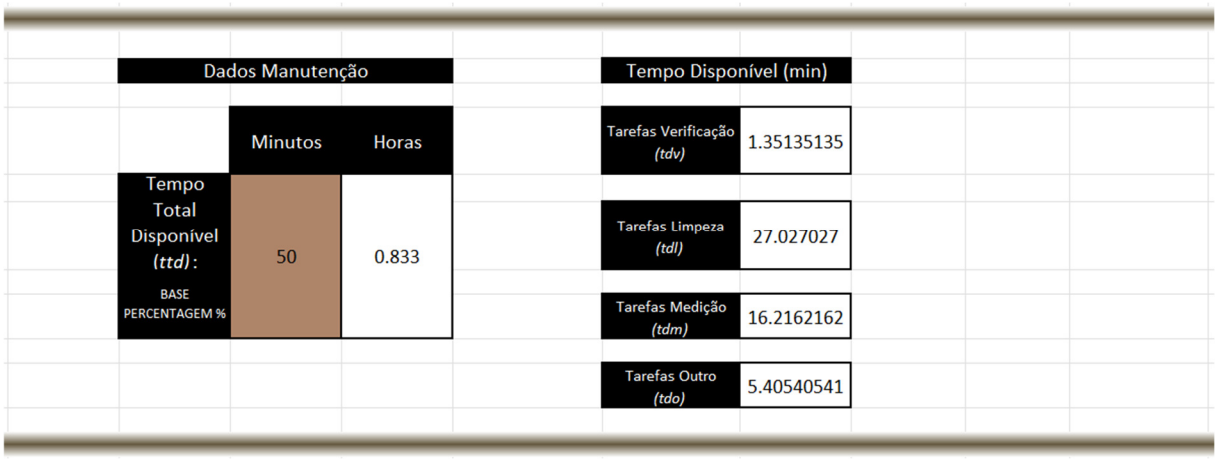


Figura 3 - Dados estimados através do histórico de tempos efetivos de manutenção registados, considerando o tempo total efetivo de manutenção disponível imposto pelo utilizador

Para obter os resultados apresentados foi necessário recorrer a alguns cálculos de modo a relacionar as variáveis de registo e obter as de estimativa.
Começando pelo histórico de dados obtidos (representado na figura 1), para cada contrato de manutenção são registados:

- O número de tarefas de verificação (*ntv*);
- O número de tarefas de limpeza (*ntl*);
- O número de tarefas de medição (*ntm*);
- O número de tarefas "outro" (*nto*).

E, para cada uma destas tipologias, são registados os respetivos:

- Tempo de tarefas de verificação (*tv*);
- Tempo de tarefas de limpeza (*tl*);
- Tempo de tarefas de medição (*tm*);
- Tempo de tarefas "outro" (*to*).

A soma destes tempos corresponde ao tempo efetivo de trabalho (t_e) de cada contrato. Dividindo a soma do tempo registado de cada tipologia de tarefa pelo número de tarefas correspondente, obtém-se a média do tempo que uma tarefa de um determinado tipo durará para um determinado equipamento, como se pode verificar nas equações 1.3-1.7.

$$tmv = \frac{tv}{ntv} \tag{1.3}$$

$$tml = \frac{tl}{ntl} \tag{1.4}$$

$$tmm = \frac{tm}{ntm} \tag{1.5}$$

$$tmo = \frac{to}{nto} \tag{1.6}$$

Já os tempos médios totais registados (principais parâmetros que definirão as estimativas finais) serão obtidos também através do cálculo da média, mas tendo em conta o número de contratos e os valores registados. Isto é, a título de exemplo, para um número de contratos *n* existem *n* tempos médios de verificação por tarefa (*tmv*). Ou seja, o somatório de todos os *tmv* registados a dividir pelo número de registos *n*, corresponde ao tempo médio registado para uma tarefa de verificação de um contrato (*rTMV)*. Também é possível traduzir o tempo de verificação por contrato em percentagem (*%rTV)*, fazendo a divisão entre o somatório de todos os tempos de verificação registados (*tv)* com o somatório de todos os tempos efetivos de manutenção registados (t_e).

Além das que já foram referidas serão apresentadas mais variáveis para dar seguimento aos cálculos. O tempo médio para cada plano de manutenção (com base em valores registados) é o Tempo Total Médio Registado (*rTTM*). As variáveis que representam o tempo médio registado por tarefa por tipologia de manutenção são as seguintes: Tempo Médio Outro (*rTMO*); Tempo Médio de Medição (*rTMO*)*;* Tempo Médio de Limpeza (*rTML*). Todos estas metodologias estão representadas nas equações 1.8-1.12.

$$rTTM = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_e}{n} \tag{1.8}$$

$$rTMO = \frac{\sum_{i=1}^{n} tmo}{n} \tag{1.9}$$

$$rTMM = \frac{\sum_{i=1}^{n} tmm}{n} \tag{1.10}$$

$$rTML = \frac{\sum_{i=1}^{n} tml}{n} \tag{1.11}$$

$$rTMV = \frac{\sum_{i=1}^{n} tmv}{n} \tag{1.12}$$

Já a nível percentual, representando qual o peso que cada tipologia de tarefas de manutenção tem no tempo total efetivo de manutenção, obtém-se a percentagem de tempo com tarefas do tipo "outro" (*%rTO*), a percentagem de tempo com tarefas de medição (*%rTO*) e percentagem de tempo com tarefas de limpeza (*%rTL*). Tal como indicado nas equações 1.13-1.16. A partir destas fórmulas é possível dar resposta às estimativas presentes nas figuras 2 e 3.

$$\%rTV = \frac{\sum_{i=1}^{n} tv}{\sum_{i=1}^{n} t_e} \tag{1.13}$$

$$\%rTL = \frac{\sum_{i=1}^{n} tl}{\sum_{i=1}^{n} t_e} \tag{1.14}$$

$$\%rTM = \frac{\sum_{i=1}^{n} tm}{\sum_{i=1}^{n} t_e} \tag{1.15}$$

$$\%rTO = \frac{\sum_{i=1}^{n} to}{\sum_{i=1}^{n} t_e} \tag{1.16}$$

Consequentemente, serão apresentadas novas variáveis. Para a figura 2, os dados que o utilizador insere para possibilitar o cálculo são o número de tarefas por tipologia que contém o novo plano de manutenção, sendo elas o número de tarefas de verificação (*ntv*), o número de tarefas de limpeza (*ntl*), o número de tarefas e medição (*ntm*) e o número de tarefas outro (*nto*). Estas, ao serem multiplicadas pelos respetivos tempos médios registados apresentados na figura 1, apresentarão as estimativas de tempo por tipologia: tempo estimado para tarefas de verificação (*tve*), tempo estimado para tarefas de limpeza (*tle*), tempo estimado para tarefas de medição (*tme*) e tempo estimado para tarefas outro (*toe*), tal como é demonstrado nas equações 1.17-1.20.

$$tve = ntv \times rTMV \tag{1.17}$$

$$tle = ntl \times rTML \tag{1.18}$$

$$tme = ntm \times rTMM \tag{1.19}$$

$$toe = nto \times rTMO \tag{1.20}$$

Ao fazer o somatório destas estimativas obtém-se o tempo total estimado do plano de manutenção (*tte*), como se pode verificar na equação 1.21.

$$tte = tve + tle + tme + toe \tag{1.21}$$

Na figura 3 é representado o método que permite ao utilizador obter, através de um tempo total efetivo de manutenção disponível (*ttd*) por este definido, o tempo disponível que, provavelmente necessitará para cada tipologia de tarefas. Sendo que para tarefas de verificação será representado por *tdv*, tarefas de limpeza por *tdl*, tarefas de medição por *tdm* e tarefas outro *tdo*.
Estes valores são obtidos multiplicando o *ttd* pelas respetivas percentagens obtidas através do histórico da figura 1, tal como está representado nas equações 1.22-1.25.

$$tdv = ttd \times \%rTV \tag{1.22}$$

$$tdl = ttd \times \%rTL \tag{1.23}$$

$$tdm = ttd \times \%rTM \tag{1.24}$$

$$tdo = ttd \times \%rTO \tag{1.25}$$

3. Discussão

É possível estimar o tempo de trabalho efetivo para cada plano de manutenção e respetivas tarefas, facilitando a padronização entre orçamentistas na empresa. A partir daqui poderão ser feitas inúmeras análises para facilitar o cálculo do tempo não efetivo de trabalho (t_r), que será somado ao t_e de modo a definir o tempo total necessário para cumprir o plano de manutenção.
Além das deslocações de tipo II anteriormente referidas, existe outro tipo de deslocações, que por norma são muito mais dispendiosas. Este parâmetro do orçamento denominado de deslocações de tipo I é representado por deslocações executadas por meio de veículos, usualmente inter-estabelecimentos. Um exemplo prático de deslocações do tipo I é o trajeto que um técnico que resida num local diferente do destino onde se irá realizar as intervenções do plano de manutenção, tem de fazer de casa até ao mesmo.
Este tipo de deslocações acarreta diversos custos intrínsecos à utilização da viatura e, também, dependentes do trajeto e do tempo que o demora a percorrer, incluindo a "ida" e a "volta". Estes custos podem ser de abastecimento ou carregamento da viatura, tempo de mão de obra despendido pelo técnico durante o trajeto, custo de aluguer ou depreciação da viatura durante o tempo de trajeto, custo de portagens e ainda o fator de desgaste da viatura a considerar.

4. Conclusão e desenvolvimentos futuros

Apesar do esforço necessário para começar a preencher o registo de tempos, principalmente em empresas onde não exista uma cultura consolidada de monitorização de atividades laborais, a verdade é que permitirá elaborar orçamentos mais detalhados, precisos e padronizados. Todos estes cálculos e definições, quer de tempo útil ou efetivo de trabalho quer de tempo não efetivo, são importantes quer para o cálculo de custos quer como ferramentas de análise para otimização de custos e trajetos.
Este tipo de orçamentação não serve apenas para alcançar preços competitivos, mas, acima de tudo, para transpor a realidade da empresa e do serviço. A verdade é que um orçamento com custos demasiado altos não interessa, uma vez que se tornará pouco competitivo. Por outro lado, orçamentos que não traduzam a realidade do tempo despendido para cada contrato, pode sobrecarregar a empresa prestadora do serviço, além de poder comprometer a qualidade do mesmo, ou até a sua concretização.
Este método poderá ainda ser utilizado por possíveis clientes que procuram serviços de manutenção ou até para a elaboração de consultas prévias e preços base.

O trabalho realizado pode ainda ser mais aprofundado nas diversas áreas em que a orçamentação de serviços de manutenção atua:

- A determinação do tempo remanescente ou tempo não efetivo de trabalho, correspondente a deslocações de tipo I, poderá tornar-se mais detalhada, fazendo subdivisões entre tipos de desperdícios que podem ocorrer e o modo como ocorrem;
- Associação de ferramentas e modelos preditivos de Inteligência Artificial (*IA*), que permitam resultados mais precisos quando o histórico é reduzido;
- Cronometragem automática com a utilização de óculos de realidade aumentada;
- Associação de modelos preditivos de *IA* com óculos de realidade aumentada para a quantificação da dificuldade de acesso às instalações;
- Criação de uma base de dados universal que permita a integração de informação disponibilizada por empresas e técnicos da área.

Para resolver problemas de forma eficaz é necessário conhecer todas as suas origens e, portanto, todas as variáveis que o justificam. A correta subdivisão e parametrização das mesmas facilita a procura e estabelecimento de possíveis soluções.

Referências

Dienst, S., Ansari, F., & Fathi, M. (2015). Integrated system for analyzing maintenance records in product improvement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *76*, 545–564. https://doi.org/10.1007/s00170-014-6228-2

Farinha, J. M. T. (2018). *Asset Maintenance Engineering Methodologies*. Taylor & Francis Group. ISBN 9781351869331.

ID06

Manutenção Preditiva Avançada de Sistemas com Correias: Integração de Redes LSTM e da Análise da Assinatura da Corrente do Motor

J. Costa ([1]), José Torres Farinha ([1,3]), Mateus Mendes ([1,3]) , J. O. Estima ([2])
joaopaulopcosta1014@gmail.com, tfarinha@isec.pt, mmendes@isec.pt; jorge.estima@enging.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal
([2]) Enging – Make Solutions, Coimbra, Portugal
([3]) RCM^{2+} - Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Sistemas de Engenharia, Coimbra, Portugal

Resumo

As falhas nas correias industriais representam desafios significativos para as operações industriais, frequentemente resultando em períodos de inatividade e intervenções para manutenção. Este estudo apresenta uma abordagem abrangente à análise das falhas nas correias, recorrendo a técnicas avançadas de monitorização e diagnóstico. Através da integração do *Motor Current Signature Analysis* (MCSA) e de algoritmos de *Machine Learning*, nomeadamente redes *Long Short-Term Memory (LSTM*), o objetivo é prever e detetar a degradação da correia em tempo real. A metodologia envolve a recolha e pré-processamento de dados espectrais brutos de ativos industriais e em seguida a criação e otimização de modelos preditivos utilizando algoritmos. A eficácia da abordagem é demonstrada através de extensos testes em dados no mundo real, mostrando a sua capacidade de prever e detetar com precisão as falhas das correias e permitir estratégias de manutenção mais precisas. Os resultados obtidos revelam um elevado nível de precisão na previsão de falhas nas correias, com os modelos desenvolvidos a superarem consistentemente os métodos tradicionais. A incorporação de redes *LSTM* conduziu a uma melhoria significativa nas capacidades de previsão, permitindo a deteção precoce de padrões de degradação e intervenção atempada. Ao aproveitar o poder da análise preditiva, a pesquisa mostra um caminho promissor para melhorar a eficiência operacional e minimizar os períodos de inatividade não planeados em ambientes industriais. Este estudo não só contribui para o campo da manutenção preditiva, como também sublinha o potencial transformador das tecnologias avançadas de monitorização na otimização da fiabilidade e desempenho dos ativos.

Palavras-Chave: Falha nas correias; Manutenção Preditiva; MCSA; LSTM; Predição de falhas; Ativos industriais

1. Introdução

A grande maioria das aplicações industriais depende de motores de indução para impulsionar a sua produção e atender aos requisitos operacionais. A construção robusta, combinada com custos mais baixos e manutenção simplificada devido à ausência de escovas e comutadores, representam algumas das principais vantagens dos motores de indução. Dado que a maioria das cargas industriais envolve este tipo de máquinas, as falhas tornam-se um gargalo crítico em processos industriais vitais. Um motor de indução consiste principalmente num rotor e num estator. O estator contém um conjunto de enrolamentos, geralmente alimentados por corrente alternada, que produz um campo magnético rotativo. O rotor, que é tipicamente uma gaiola de esquilo, é uma peça condutora que está livre para girar no campo magnético produzido pelo estator. Quando a corrente é aplicada ao estator, o campo magnético rotativo induz corrente no rotor (Mohammed Obaid Mustafa 2015). Esta corrente induzida cria um campo magnético oposto que interage com o campo magnético do estator, originando um binário no rotor, fazendo-o girar (Benjamin Carson Groen 2011). No entanto, apesar da sua eficiência, os motores de indução estão sujeitos a falhas, representando um desafio significativo para a manutenção industrial (Siddique, Yadava, and Singh 2005) (Bellini et al. 2008). Uma das falhas mais comuns nos motores de indução é a falha das correias, que pode resultar em graves interrupções nos processos industriais e custos associados à substituição da correia, bem como à paragem da máquina (Önel and Benbouzid 2008) (Gülmezoğlu and Ergin 2007). Portanto, prever e prevenir falhas tornou-se uma prioridade na manutenção industrial.

Com o avanço tecnológico, tanto a indústria quanto a academia têm dedicado esforços na análise de dados, visando aumentar a eficiência, produtividade e a redução de custos. No entanto, uma vantagem primordial deste investimento é a capacidade de prever falhas nos ativos e identificar as suas causas, permitindo assim uma redução nos recursos alocados para reparações e minimizando potenciais eventos críticos de falha nos ativos.

Várias técnicas têm sido usadas para identificar falhas em dados elétricos, incluindo a transformada de *Fourier*, algoritmos clássicos e Redes Neurais Artificiais (ANN) (Pasari, Shah, and Sirpurkar 2020). As ANN destacam-se como os métodos de Aprendizagem Computacional mais comumente utilizados para previsão devido ao seu desempenho excecional em sistemas não lineares multidimensionais complexos. A sua capacidade de processar eficientemente informação não linear torna-as particularmente robustas contra ruídos. Uma variedade de arquiteturas de redes neuronais, com camada única ou multicamada, Redes Neurais Recorrentes (RNN), *Long Short-Term Memory* (LSTM) e Redes Neuronais Modulares (MNNs), têm sido usadas para realizar manutenção preditiva de sistemas industriais.

Assim, este artigo foca-se numa das falhas mais comuns nos motores de indução: a falha da correia. O estudo, inicialmente, foca-se num modelo de previsão simples, nomeadamente o *Autoregressive integrated moving average* (ARIMA) (Francis and Mohan 2019) (Pan et al. 2016) e posteriormente em modelos mais complexos, como *LSTM* (Gers, Schmidhuber, and Cummins 2000) (Simon Haykin 2001). No final, a pesquisa concentra-se em desenvolver um modelo de previsão dinâmico e robusto capaz de prever eficientemente a degradação da correia com base nos dados elétricos brutos registrados por sensores. Todas as análises neste estudo foram conduzidas no domínio do tempo e o modelo proposto foi projetado para prever antecipadamente a degradação da correia e as falhas.

2. Revisão Literária

A deteção e o diagnóstico de falhas são métodos avançados de supervisão e monitorização de falhas. A deteção e o diagnóstico de falhas pode organizar-se em quatro etapas, tal como apresentado em seguida (Benbouzid 2000) (Nandi, Toliyat, and Li 2005) .

A primeira etapa consiste na aquisição das grandezas da máquina através de diferentes tipos de sensores (tensão, corrente, fluxo, aceleração), normalmente associados a filtros que eliminam o ruído presente nas instalações e a conversores analógico-digitais responsáveis pela conversão das grandezas analógicas em sinais digitais para posterior processamento. Na segunda etapa é efetuado o processamento dos sinais obtidos dos sensores por forma a extrair as suas características fundamentais. Na terceira etapa é realizada a deteção de falhas que, associada ao diagnóstico (quarta etapa) determina o tipo de falha, o seu impacto e a sua localização.

A presença de qualquer tipo de falha na máquina resulta em alterações nas tensões e correntes da fase do estator e no campo magnético, que provocam um aumento da temperatura, do ruído e das vibrações na máquina. A aquisição destas grandezas, elétricas e mecânicas, é relativamente fácil, o que permite a monitorização do estado de funcionamento da máquina e, consequentemente, a deteção e o diagnóstico da ocorrência de falha. Neste sentido, têm-se desenvolvido várias metodologias para deteção e diagnóstico de falhas em máquinas elétricas, existindo atualmente diversos métodos, cada um com as suas particularidades, diferindo uns dos outros pelo número e tipos de falhas que são capazes de detetar e pelas grandezas usadas nessa deteção. Os métodos de monitorização e deteção de falhas nas máquinas elétricas podem também ser classificados como métodos invasivos ou não invasivos. Os métodos invasivos, como o nome indica, precisam de ter acesso à máquina para aquisição das grandezas necessárias à análise. Assim, a sua aplicação tem desvantagens face aos métodos não invasivos que não têm essa necessidade, utilizando normalmente grandezas elétricas mais fáceis de medir.

Nos últimos anos, vários métodos de deteção e de diagnóstico de falhas em máquinas elétricas têm-se centrado na utilização das técnicas de inteligência artificial ou sistemas inteligentes (Mohammed Obaid Mustafa 2015), que recorrem a aspetos da inteligência humana, tais como: a capacidade de aprendizagem com a experiência do passado, o reconhecimento de padrões e a capacidade de fazer deduções. De um modo geral, as técnicas de diagnóstico baseadas em sistemas inteligentes, combinadas com os métodos de deteção ditos tradicionais, permitem automatizar a deteção e o diagnóstico de falhas.

A Tabela 1 mostra um resumo de alguns trabalhos relevantes no campo.

Tabela 9 - Resumo dos principais modelos de deteção de falhas

MODELO	DETEÇÃO DE FALHAS	REFERÊNCIAS
Análise de Vibrações	Avarias mecânicas, falha dos rolamentos, excentricidades e outras avarias no geral	(Bruno Fernandes Duarte 2019) (Goundar et al. 2016)
MCSA	Curto-circuitos dos enrolamentos do estator; barras quebradas do rotor, rolamentos, correias polias	(Bruno Fernandes Duarte 2019) (Thomson and Fenger 2001)
Fluxo magnético axial	Curto-circuitos dos enrolamentos do estator, barras quebradas do rotor	(Nandi, Toliyat, and Li 2005) (Henao, Demian, and Capolino 2003)
Vetor de Park	Excentricidades, curto-circuitos nos enrolamentos estatóricos, avarias no rotor e desequilíbrios na rede de alimentação	(Bruno Fernandes Duarte 2019) (Estima, Freire, and Cardoso 2013)
ANN – Artificial Neuronal Network	Curto-circuitos no estator e barras quebradas do rotor	(Simon Haykin 2001) (Filippetti et al. 2000)

2.1 *Motor Current Signature Analysis*

A técnica conhecida como *Motor Current Signature Analysis* (MCSA) é uma abordagem amplamente utilizada e não invasiva para diagnosticar falhas em máquinas de indução, valorizada pela simplicidade de uso e pela ausência da necessidade de conhecimento detalhado dos parâmetros da máquina.

Para o diagnóstico é necessário apenas o registo da corrente de uma das fases da máquina. Este método baseia-se na análise espectral do sinal de corrente de uma fase do estator. As correntes do estator das máquinas contêm harmónicos devido à configuração sinusoidal imperfeita dos enrolamentos da máquina, juntamente com possíveis harmónicos presentes na rede elétrica (Bruno Fernandes Duarte 2019).

No caso de um curto-circuito num dos enrolamentos do estator, seja entre espiras do mesmo enrolamento ou entre espiras de enrolamentos de fases diferentes, a configuração da força magnetomotriz rotativa é alterada, resultando em alterações nas amplitudes dos harmónicos das correntes do estator. Portanto, no espectro de frequência das correntes do estator, é possível detetar um curto-circuito, já que o espectro difere do obtido quando a máquina está a operar normalmente (Önel and Benbouzid 2008).

Quando ocorre uma falha no rotor, como a quebra de barras ou um dos anéis de curto-circuito, o rotor manifesta-se como um circuito trifásico desequilibrado. Este desequilíbrio gera correntes de sequência negativa, criando um campo magnético que gira na direção oposta à rotação do rotor, resultando num torque na direção oposta, causando oscilações na velocidade do rotor. Estas oscilações afetam as correntes do estator, de modo que os harmónicos são induzidos em duas bandas laterais à frequência da rede. A presença destas bandas laterais no espectro de frequência possibilita o diagnóstico e identificação de falhas no rotor. Embora esta técnica seja eficaz na deteção de quebras de barras do rotor, existem desvantagens, como a amplitude da corrente, que é diretamente influenciada pela carga ligada à máquina (Thomson and Fenger 2001).

2.5.1. Falha das Correias

O primeiro passo ao monitorizar os componentes da frequência característica da correia é calcular a frequência da correia f_b. Neste caso, f_b é a frequência característica da correia, dada por:

$$f_b = \frac{D_{motor_{pulley}} \pi f_r}{L_{belt}} \quad (1)$$

Onde L_{belt} é o comprimento da correia. Desta forma, os componentes da banda lateral da fundamental estão em $f_1 \pm f_b$. Após calcular esta frequência, basta seguir o padrão apresentado na Figura 1 e acompanhar a curva de tendência para diagnosticar problemas neste elemento do sistema.
No entanto, além de diagnosticar problemas, como correias fracas, quebradas ou excessivamente tensionadas, é possível analisar questões oriundas da carga. No caso de falha na carga, os níveis de vibração nas correias aumentam consideravelmente, resultando em amplitudes mais altas para as frequências características da correia. O processo de degradação mecânica é um acúmulo contínuo de falhas. A sua degradação é determinada pela avaliação do seu estado atual observável em comparação com o seu estado no passado recente (Bingham, Godfrey, and Tukey 1967) .

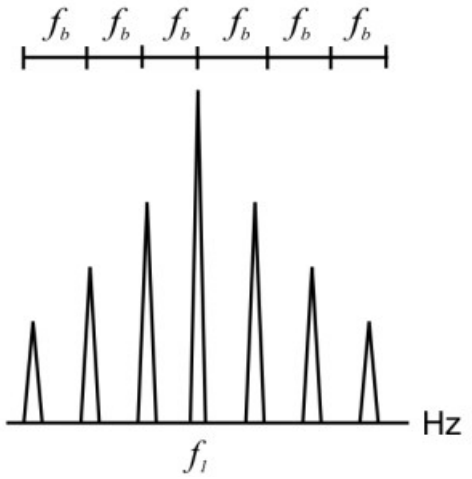


Figura 1. Padrão da Falha das Correias (E.L. Bonaldi et al. 2015)

3. Metodologia

No contexto atual, onde a complexidade dos sistemas mecânicos e elétricos é cada vez mais aprimorada, a necessidade de técnicas avançadas de monitorização e diagnóstico torna-se imperativa. O método MCSA e algoritmos de Aprendizagem Computacional surgem como ferramentas valiosas para a deteção precoce de falhas em componentes essenciais dos ativos, proporcionando uma manutenção mais eficaz, minimizando interrupções inesperadas.

3.1. Materiais

3.1.1. *Setup* Experimental

O *setup* experimental utilizado neste estudo consiste num ventilador industrial, como ilustrado na Figura 2, servindo como o principal ativo em investigação. O ventilador industrial fornece uma fonte de dados operacionais essenciais para a realização de análises abrangentes. A aquisição de dados do ventilador industrial é facilitada através de um sofisticado sistema de registo de dados, permitindo a extração contínua de componentes espectrais relevantes do motor.

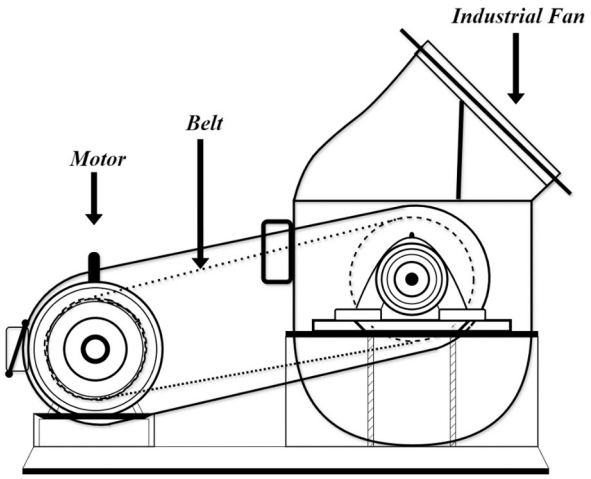


Figura 2. Esquema do setup experimental

3.1.2. Conjunto de Dados

O conjunto de dados utilizado neste estudo abrange de janeiro de 2022 a novembro de 2023, englobando mais de um milhão de amostras de aquisição de dados, realizadas com um período de 10 minutos entre si. Para simplificar a análise e reduzir a complexidade computacional, estas amostras foram agregadas em médias diárias, resultando em aproximadamente 620 amostras. O conjunto de dados é composto por duas variáveis principais: amplitude, representando a intensidade do sinal, e a frequência, indicando a frequência de ocorrência da falha em *Hertz* (Hz). Para cada variável, diversos parâmetros estatísticos foram calculados para caracterizar a sua distribuição ao longo do tempo. Estes parâmetros incluem a média, mediana, máximo, mínimo e o desvio padrão. Quanto à divisão do conjunto de dados em conjunto de treino e teste, adotou-se uma divisão de 80% - 20%, com 80% alocados para treino e 20% para teste.

O ambiente computacional para o desenvolvimento e avaliação do modelo proposto foi estabelecido dentro de um ambiente robusto e versátil, predominantemente utilizando a linguagem de programação *Python*. A versatilidade do *Python* e o seu extenso ecossistema de bibliotecas tornam-no numa escolha perfeita. As principais bibliotecas *Python* utilizadas incluíram ferramentas amplamente adotadas como *NumPy* e *Pandas*, para a manipulação de dados, análise estatística e cálculos matemáticos. Além disso, bibliotecas especializadas, como o *TensorFlow* e *Keras* facilitam a implementação e treino de modelos de Aprendizagem Computacional, incluindo redes LSTM.

Para visualização de dados e análise exploratória, o *Matplotlib* e *Seaborn* forneceram boas funcionalidades . Estas ferramentas permitiram obter *insights* mais profundos sobre as características e distribuição do conjunto de dados, auxiliando na seleção dos modelos. Uma plataforma de monitorização de ativos serviu como um *hub* central para aquisição, armazenamento e análise de dados. Esta plataforma está integrada com os ativos industriais, permitindo a recolha de dados em tempo real e monitorização contínua. Aproveitando as capacidades da plataforma, foi possível obter valores espectrais que serviram de base para a modelação preditiva e análise de falhas. Ao aproveitar o poder computacional do *Python*, juntamente com uma ampla gama de bibliotecas e ferramentas, foi possível desenvolver e avaliar modelos sofisticados de manutenção preditiva de forma eficaz. Este ambiente de análise robusto estabeleceu as bases para a implementação e validação bem-sucedidas da metodologia proposta, impulsionando avanços na fiabilidade e otimização de desempenho dos ativos.

4. Modelos preditivos

Uma vez que os registos de falha da correia podem ser considerados como uma série temporal multivariada e o estado atual de uma falha específica é esperado que esteja relacionado com os estados anteriores, dois modelos foram considerados para este estudo.

Primeiramente, o modelo ARIMA foi considerado. Este é um modelo estatístico amplamente utilizado para análise de séries temporais (Francis and Mohan 2019) (Pan et al. 2016). Os modelos ARIMA são uma classe geral de modelos usados para prever uma série temporal que, mesmo não sendo estacionária, pode ser tornada estacionária por diferenciação (Ho and Xie 1998). Estes são baseados em três componentes, especificados pelos parâmetros *p*, que é o número de termos autorregressivos (*lags*) a serem usados, *q* é a ordem da média móvel, e *d* a ordem da diferenciação. Ao analisar uma série temporal, se os dados indicarem não estacionariedade, a diferenciação é realizada para transformar a série não estacionária numa estacionária (Jorge Manuel Nunes Xavier 2016).

Posteriormente, um modelo de aprendizagem profunda foi considerado, particularmente uma *LSTM* (Gers, Schmidhuber, and Cummins 2000) (Duch and Jankowski 1999) (Feng and Feng 2022). A *LSTM* é um tipo de RNN (Rede Neuronal Recorrente), que é uma arquitetura de rede neuronal especialmente projetada para lidar com dados sequenciais. Este é capaz de capturar e reter informação de longo prazo, ligando informação do passado recente para o presente e, até mesmo, extrapolando para o futuro. À medida que a distância entre informação relevante e a informação do passado aumenta, as RNNs convencionais tendem a perder a capacidade de aprender. Para resolver este problema foram projetados múltiplos "portões" de controlo na arquitetura *LSTM*. Esses portões ajudam a regular o fluxo de informação ao longo do tempo, permitindo que a rede aprenda com sequências de dados mais longas. A rede *LSTM*, portanto, é amplamente reconhecida como uma das abordagens mais bem-sucedidas para lidar com dados sequenciais em redes neuronais. A Figura 3 ilustra a estrutura interna de uma *LSTM*.

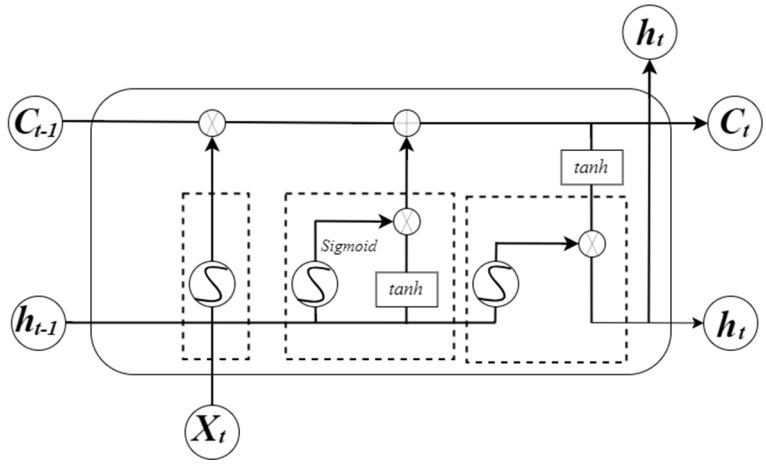


Figura 3. Estrutura interna de uma LSTM

Os valores dos hiperparâmetros foram otimizados experimentalmente. As Tabelas 2 e 3 apresentam os parâmetros usados para cada modelo.

Tabela 2. Características do modelo ARIMA

MODELO	*p*	*d*	*q*
ARIMA	3	1	2

Tabela 3. Características dos modelos LSTM

MODELO	LSTM - SIGMOID	LSTM - TANH	LSTM - RELU
Número de Camadas Ocultas	1	1	1
Número de Unidades de Memória	35	40	35
Optimizer	ADAM	SGD	ADAMAX
Tamanho do Lote	2	2	2
Épocas de treino	100	100	100

Para ambos os modelos *LSTM* e *ARIMA* foi utilizada uma série temporal de dados representando o desempenho histórico da amplitude da falha das correias. Cada ponto de dados na série temporal representa uma medição específica da frequência de falha da correia ao longo do tempo.

Para o *ARIMA* uma série de iterações foi conduzida para descobrir os valores ótimos (*p, d, q*) bem como os gráficos da autocorrelação do modelo que também foram realizados para garantir que o modelo estava bem construído. Da mesma forma foi realizado o mesmo processo para a *LSTM*, começando com a sua parametrização e vários testes sobre a divisão correta de percentagem dos dados de treino e teste até atingir a parametrização descrita acima.

Em resumo, tanto os modelos *LSTM* quanto *ARIMA* foram submetidos a testes rigorosos e a uma otimização de parâmetros para garantir previsões o mais precisas possível.

5. Resultados

Nesta secção apresenta-se os resultados obtidos ao aplicar os modelos anteriormente descritos para prever a falha da correia. A Tabela 4 mostra um resumo.

Tabela 4. Comparação do desempenho dos modelos

MODELO	RMSE	MAPE	ACCURACY
ARIMA	0.1	11.20%	88.8%
LSTM-Sigmoid	0.06	5.60%	94.40%
LSTM-Tanh	0.06	5.40 %	94.60%
LSTM-ReLU	0.05	5.20%	94.80%



Figura 4. Previsão do Modelo LSTM - ReLU

O desempenho do modelo LSTM - ReLU foi aquele que mostrou os melhores resultados, como pode ser visto na Figura 4 e na Tabela 4. A Figura mostra o gráfico dos valores da amplitude prevista e real da componente de falha da correia. A cor verde representa as amplitudes reais da componente de falha da correia, enquanto a cor vermelha representa os valores previstos. O modelo previu com precisão os valores e acompanhou a tendência de degradação, que também foi eficientemente prevista.

Por fim, com base no melhor modelo, foi realizada uma previsão para o futuro. No entanto, o objetivo seria que a previsão se adaptasse à medida que a tendência dos dados recentes mudasse, como mostrado na Figura 5. Neste processo de previsão, o modelo utilizou dados dos 23 dias anteriores para prever os próximos 31 dias, representando um horizonte de previsão de um mês. É importante notar que os dados dos 23 dias anteriores foram usados para previsão em ambas as Figuras 4 e 5, com a previsão futura especificamente ilustrada na Figura 5. No entanto, nesta previsão, são apresentados diferentes cenários por cores: o azul representa o período de treino, o verde ilustra o cenário otimista e o vermelho indica o cenário pessimista, onde a amplitude da componente de falha das correias piora. A cor amarela representa o valor mais provável que a componente de falha da correia poderá ter.

Sublinhe-se que existe um desvanecimento das cores de cada cenário para que a degradação ou melhoria da amplitude possa ser visualmente percebida com mais facilidade. Além disso, existe um aumento no intervalo de valores previstos à medida que se aumenta a previsão para o futuro, devido à crescente margem de erro. Isto resulta num efeito parabólico para cada cenário.

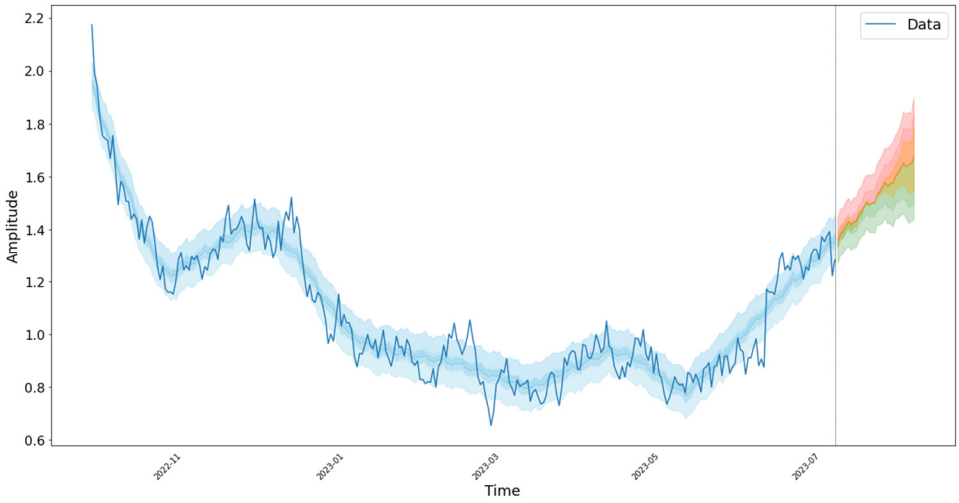


Figura 5. Predição da falha das correias para o futuro

6. Discussão

A análise dos resultados deste estudo proporciona intuições relevantes sobre a previsão e deteção de falhas em motores de indução, com foco particular na falha das correias. Estas descobertas são contextualizadas dentro do quadro da pesquisa e das hipóteses formuladas nesta investigação.

Ao comparar os resultados com os modelos discutidos na revisão literária, destacam-se algumas diferenças significativas. Enquanto os modelos tradicionais, como o *ARIMA*, têm sido amplamente utilizados na análise de séries temporais, é possível concluir que os modelos *LSTM* superaram estes modelos em termos de precisão e capacidade de adaptação a padrões complexos nos dados. Por exemplo, o *ARIMA*, embora eficaz em séries temporais estacionárias, mostra dificuldades ao lidar com a sazonalidade e não linearidade presentes nos dados de falhas da correia, sendo também mais adequado para previsões de curto prazo. Além disso, a capacidade do modelo *LSTM* aprender com sequências temporais torna-o mais adequado para identificar relações de longo prazo e detetar padrões subtis nos sinais de falha. Enquanto modelos convencionais baseados em regressão dependem de uma série de pressupostos sobre a estacionariedade dos dados e linearidade dos relacionamentos, a *LSTM* lida de forma mais flexível com a complexidade inerente dos sinais de falha da correia.

Outro destaque é a capacidade da *LSTM* fornecer previsões dinâmicas e adaptativas. Ao utilizar dados dos últimos 23 dias para fazer previsões, o modelo foi capaz de ajustar as previsões conforme a tendência dos dados mais

recentes se alteravam. Isto permitiu uma resposta mais ágil às mudanças nas condições operacionais e aumentou a precisão nas previsões de falhas.

Em resumo, o estudo demonstra que a *LSTM* oferece uma abordagem promissora para a previsão de falhas nos motores de indução, superando a maioria dos modelos em termos de precisão e adaptabilidade.

7. Conclusão

Este estudo centrou-se na utilização de modelos preditivos, nomeadamente uma rede *LSTM*, para detetar e prever falhas em motores de indução, com foco principal na falha das correias. Os resultados demonstram a eficácia deste modelo na antecipação de falhas, fornecendo assim uma ferramenta poderosa para a manutenção preditiva.

Através da aplicação de uma *LSTM*, com uma janela temporal de 23 dias, foram alcançados resultados notáveis. O melhor modelo *LSTM* apresentou erros próximos de 5%, com a maioria a ficar abaixo do limite de 10%; isto sublinha a fiabilidade e precisão da abordagem na antecipação de falhas em motores de indução. As vantagens de utilizar uma *LSTM* para a previsão de falhas são significativas, pois não só oferece uma alta precisão na previsão, como também fornece previsões dinâmicas e adaptativas ao aproveitar sequências temporais. Além disso, a *LSTM* pode detetar dependências de longo prazo e padrões subtis nos sinais de falha, aprimorando as suas capacidades preditivas. No entanto, é importante reconhecer as limitações do modelo. A sua implementação exige recursos computacionais substanciais e grandes volumes de dados históricos para a fase de treino, o que pode representar desafios práticos em alguns ambientes industriais. Além disso, a interpretabilidade das previsões da *LSTM* pode ser limitada, uma vez que o processo de tomada de decisão depende dos padrões aprendidos existentes nos dados.

Olhando para o futuro, os esforços de futuras pesquisas podem concentrar-se em abordar estas limitações e refinar o modelo *LSTM* para novas aplicações industriais. Isto poderá envolver a investigação de métodos para simplificar os requisitos de computação, melhorar a interpretabilidade do modelo e explorar a integração de técnicas de diagnóstico adicionais.

Referências

Bellini, Alberto, Fiorenzo Filippetti, Carla Tassoni, and Gérard André Capolino. 2008. “Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines.” *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(12). doi:10.1109/TIE.2008.2007527.

Benbouzid, Mohamed El Hachemi. 2000. “A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection.” *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 47(5). doi:10.1109/41.873206.

Benjamin Carson Groen. 2011. “Investigation of DC Motors for Electric and Hybrid Electric Motor Vehicle Applications Using an Infinitely Variable Transmission .” Brigham Young University.

Bingham, Christopher, Michael D. Godfrey, and John W. Tukey. 1967. “Modern Techniques of Power Spectrum Estimation.” *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics* 15(2). doi:10.1109/TAU.1967.1161895.

Bruno Fernandes Duarte. 2019. “Análise Da Condição e Diagnóstico de Avarias Em Motores Elétricos Para Efeitos de Manutenção Preventiva.” Universidade NOVA de Lisboa .

Duch, Włodzisław, and Norbert Jankowski. 1999. “Survey of Neural Transfer Functions.” *Neural Computing Surveys* 2.

E.L. Bonaldi, Levy Lacerda Oliveira, Germano Lambert-Torres, Jonas Guedes Borges da Silva, Ailton Cesar Gomes Baptista, and Luiz Eduardo Borges da Silva. 2015. “Desenvolvimento Do Lote Pioneiro Do Sistema de Monitoramento Da Condição de Motores de Sistemas Auxiliares Pela Análise Da Assinatura Elétrica.” *VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, VIII CITENEL.*

Estima, Jorge O., Nuno M.A. Freire, and A. J.Marques Cardoso. 2013. “Recent Advances in Fault Diagnosis by Park’s Vector Approach.” In *Proceedings - 2013 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis, WEMDCD 2013*, doi:10.1109/WEMDCD.2013.6525187.

Feng, Shufang, and Yong Feng. 2022. “A Dual-Staged Attention Based Conversion-Gated Long Short Term Memory for Multivariable Time Series Prediction.” *IEEE Access* 10. doi:10.1109/ACCESS.2021.3136712.

Filippetti, Fiorenzo, Giovanni Franceschini, Caria Tassoni, and Peter Vas. 2000. "Recent Developments of Induction Motor Drives Fault Diagnosis Using AI Techniques." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 47(5). doi:10.1109/41.873207.

Francis, Freceena, and Maya Mohan. 2019. "ARIMA Model Based Real Time Trend Analysis for Predictive Maintenance." In , 735–39. doi:10.1109/ICECA.2019.8822191.

Gers, Felix A., Jürgen Schmidhuber, and Fred Cummins. 2000. "Learning to Forget: Continual Prediction with LSTM." *Neural Computation* 12(10). doi:10.1162/089976600300015015.

Goundar, S. S., M. R. Pillai, K. A. Mamun, F. R. Islam, and R. Deo. 2016. "Real Time Condition Monitoring System for Industrial Motors." In *2015 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering, APWC on CSE 2015*, doi:10.1109/APWCCSE.2015.7476232.

Gülmezoğlu, M. Bilginer, and Semih Ergin. 2007. "An Approach for Bearing Fault Detection in Electrical Motors." *European Transactions on Electrical Power* 17(6). doi:10.1002/etep.161.

Henao, Humberto, Cristian Demian, and Gérard André Capolino. 2003. "A Frequency-Domain Detection of Stator Winding Faults in Induction Machines Using an External Flux Sensor." *IEEE Transactions on Industry Applications* 39(5). doi:10.1109/TIA.2003.816531.

Ho, S. L., and M. Xie. 1998. "The Use of ARIMA Models for Reliability Forecasting and Analysis." *Computers and Industrial Engineering* 35(1–2). doi:10.1016/s0360-8352(98)00066-7.

Jorge Manuel Nunes Xavier. 2016. "Análise e Previsão de Séries Temporais Com Modelos ARIMA e Análise Espectral Singular." Universidade Aberta.

Mohammed Obaid Mustafa. 2015. "On Fault Detection, Diagnosis and Monitoring for Induction Motors." Luleå University of Technology.

Nandi, Subhasis, Hamid A. Toliyat, and Xiaodong Li. 2005. "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors - A Review." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 20(4). doi:10.1109/TEC.2005.847955.

Önel, Izzet Yilmaz, and Mohamed El Hachemi Benbouzid. 2008. "Induction Motor Bearing Failure Detection and Diagnosis: Park and Concordia Transform Approaches Comparative Study." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 13(2). doi:10.1109/TMECH.2008.918535.

Pan, Yanchun, Mingxia Zhang, Zhimin Chen, Ming Zhou, and Zuoyao Zhang. 2016. "An ARIMA Based Model for Forecasting the Patient Number of Epidemic Disease." In *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management, ICSSSM 2016*, doi:10.1109/ICSSSM.2016.7538560.

Pasari, Sumanta, Aditya Shah, and Utkarsh Sirpurkar. 2020. "Wind Energy Prediction Using Artificial Neural Networks." In *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*, doi:10.1007/978-3-030-44248-4_10.

Siddique, Arfat, G. S. Yadava, and Bhim Singh. 2005. "A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 20(1). doi:10.1109/TEC.2004.837304.

Simon Haykin. 2001. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. 2th ed. Bookman Editora .

Thomson, William T., and Mark Fenger. 2001. "Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults." *IEEE Industry Applications Magazine* 7(4). doi:10.1109/2943.930988.

ID07
O Impacto de Novas Tecnologias na Substituição de Ativos

Luís Miguel D. Neves ([1,2]), José M. Torres Farinha ([1,2]), José Luís F. Martinho ([1,2])
luismdn00@gmail.com, tfarinha@isec.pt, martinho@isec.pt

([1]) ISEC/IPC—Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+—Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas, Coimbra, Portugal

Resumo

Os modelos tradicionais de substituição de ativos são amplamente utilizados para determinar o momento ideal para substituir equipamentos. O modelo *Life Cycle Investment*, um dos mais completos, integra os resultados do *Life Cycle Costing* com os rendimentos do uso do equipamento, identificando o ponto máximo de Retorno do Investimento (ROI). Contudo, estes modelos só se aplicam quando a substituição é feita por um ativo idêntico ao analisado. Para uma análise mais realista, é necessário considerar novos equipamentos disponíveis no mercado, que podem ser mais eficientes, ter melhor desempenho e diferentes custos de aquisição ou manutenção. Este artigo verifica o impacto da consideração de novos ativos no ponto ótimo de substituição.
É desenvolvida uma abordagem dinâmica de custos que analisa iterativamente os resultados da substituição de ativos dentro do período definido pelo utilizador, identificando o ano de troca mais benéfico para a organização. Os resultados da modelação apresentam várias sugestões de substituição, dependendo dos objetivos do plano estratégico de gestão de ativos (SAMP), ficando claro que há vantagens financeiras em considerar equipamentos tecnologicamente mais avançados, que tendem a antecipar o ano de substituição, aumentando os benefícios da empresa no mesmo período. Apesar de esta abordagem colmatar algumas lacunas dos modelos tradicionais, uma grande evolução tecnológica pode resultar numa substituição mais frequente dos ativos, aumentando a pegada ecológica. Assim, de modo a fazer análises mais completas e ambientalmente conscientes, é feito um estudo de *Life Cycle Assessment* que quantifica as emissões de $kgCO_2eq$. Estes resultados são finalmente integrados numa análise de Eco-Eficiência que permite fazer a comparação entre os resultados obtidos para cada ano de substituição.

Palavras-Chave: Substituição de Ativos, *Life Cycle Costing*, Evolução Tecnológica, Retorno do Investimento

1. Introdução

Um Ativo é definido como um item, tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, que tem valor potencial ou real para uma entidade. A gestão destes ativos é estabelecida pelo controlo e monitorização eficazes, e atua como a atividade coordenada de uma organização para realizar o valor dos ativos, de acordo com os seus objetivos organizacionais, através da gestão de riscos e oportunidades (*ISO 55000,* 2014).
A aplicação de práticas eficazes está comprovadamente associada a melhores resultados em termos de sustentabilidade em três domínios fundamentais: desempenho económico, ambiental e social, que, por sua vez, contribuem para a realização dos objetivos de desenvolvimento sustentável (Maletič et al., 2018).
As ferramentas mais utilizadas em análises de performance de custos e impacto ambiental são o *Life Cycle Costing* (LCC) e o *Life Cycle Assessment* (LCA), respetivamente. Estas são frequentemente utilizadas como métodos de apoio à decisão para otimizar a performance das organizações (Witik et al., 2013).
No entanto, estas raramente são utilizadas em conjunto ou de forma integrada, resultando em análises com apenas uma categoria de impacto que, juntamente com a falta de comunicação da incerteza dos dados utilizados, levam a uma fraca robustez nos resultados (Wu et al., 2023).
Neste artigo é apresentado um caso de estudo sobre a integração dos resultados de uma nova abordagem aos modelos de substituição de ativos, que aplica dados de um LCC prévio, com os resultados de um simples LCA que estuda o impacto nas alterações climáticas (medido em $kgCO_2eq$) durante a fase de uso do equipamento.

2. Revisão da Literatura

Os métodos de apoio à decisão são essenciais para apoiar a gestão, especialmente se a organização estiver a planear investir em sistemas e tecnologias emergentes para aumentar o desempenho da empresa. Uma destas ferramentas é o cálculo dos custos do ciclo de vida (LCC), que projeta o desempenho económico e de engenharia dos ativos

da empresa, podendo utilizar os resultados obtidos como suporte para introduzir melhorias na eficácia dos sistemas através de investimentos e modificações de ativos.

Estes modelos podem ser adaptados ao objetivo de análise da empresa, apoiando a tomada de decisões ao longo de todo o ciclo de vida do produto, com o objetivo de maximizar o rácio entre benefícios e custos. Seja melhorando o desempenho pelo mesmo custo, seja reduzindo os custos mantendo os mesmos benefícios (El-Akruti et al., 2015).

A substituição de um ativo assenta no princípio básico da comparação de dados para compreender se os benefícios de manter o ativo atual durante outro período de tempo são superiores ou inferiores aos benefícios de oportunidade do novo ativo durante o mesmo período (Perrin, 1972).
Assim, o problema da substituição consiste na definição do ano ótimo de substituição que maximiza (lucro) ou minimiza (custos, impacto ambiental) uma ou várias métricas especificadas pela empresa.

Modelo da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MCMT – RVP)

$$C'_n = \frac{\sum_{j=1}^{n}(CM_j + CO_j)}{(1+i_A)^n} \quad (1)$$

$$C''_n = \frac{VA - \frac{VC_j}{(1+i_A)^n}}{n} \quad (2)$$

$$C_n = C'_n + C''_n \quad (3)$$

Onde:

- CM_j – Custos de manutenção no ano j
- CO_j – Custos de operação no ano j
- VA – Valor de aquisição
- VC_j – Valor de cessão no ano j

Em última análise, o modelo permite identificar o momento em que o custo médio de posse do equipamento é mínimo (Raposo et al., 2017):

$$Custo\ Mínimo = \min_{n\in\{1,2,\dots,N\}} \frac{1}{n}\left(VA - \frac{VC_n}{(1+i_A)^n} + \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^n}\right)\right) \quad (4)$$

Assim, o modelo MCMT-RVP faz uso das variáveis acima descritas para estimar qual o custo médio de posse do equipamento para cada ano de análise (Equação 3), sendo que, o resultado do modelo é dependente da variável C''_n (Equação 2) que faz a simulação de venda do equipamento para cada ano, de acordo com o valor de cessão introduzido.
Para isto, é necessário definir qual o valor do equipamento para cada ano de vida, que idealmente serie o valor de mercado. No entanto, como este tipo de análises são feitas a longo prazo e envolvem a utilização de valores futuros, definir o valor de mercado exato para a vida futura do equipamento pode ser um processo bastante complexo e penoso (Farinha, 2018). Portanto, para colmatar esta brecha, podem ser utilizados métodos de depreciação, como o linear, exponencial e soma dos dígitos, sendo que este último método é calculado através das Equações 5, 6 e 7 (Oliveira, 1982).

Método de Depreciação da Soma dos Dígitos

É geralmente utilizado para fornecer valores intermédios, entre o método linear e o exponencial.

$$SD = \frac{N(N+1)}{2} \quad (5)$$

$$d_n = \frac{N-(n-1)}{SD}(VA - R) \quad (6)$$

$$VC_n = VC_{n-1} - d_n \quad (7)$$

Onde:

- VA – Valor de aquisição do ativo
- VC_n – Valor de cessão do ativo no ano n
- R – Valor residual do ativo após N períodos
- d_n – Taxa de depreciação anual

Life Cycle Assessment

Um LCA tem como objetivo analisar todos os inputs e outputs que estejam dentro da fronteira do estudo, para que assim seja possível calcular os potenciais impactos ambientais (*ISO 14040*, 2006). Este tipo de análise pode ser adaptado ao foco que a organização pretenda, sendo que a maioria das aplicações desta ferramenta são utilizadas no espetro do ciclo de vida da produção do ativo (*cradle-to-gate*).

Análise de Eco-Eficiência

Este tipo de análise surge da crescente onda que destaca temas relacionados com a sustentabilidade e a importância de ferramentas de suporte à decisão que tenham estas variáveis em consideração (Caiado et al., 2017). Esta ferramenta em particular permite uma análise de conexão direta entre o impacto ambiental e a performance financeira com a integração do LCC com o LCA, com o objetivo de reduzir o consumo de recursos enquanto se mantém ou melhora o valor do ativo (Heijungs, 2022; Maxime et al., 2006; Müller et al., 2015).

Os resultados deste tipo de análise são geralmente apresentados como pontos num plano cartesiano, cujos eixos representam os fatores financeiros e ambientais, comparando resultados de possíveis cenários (x_s, y_s), Equações 8 e 9, com os valores de referência no ponto (0, 0).
Para obter os pontos referentes aos resultados de cada cenário, são utilizadas as seguintes fórmulas:

$$x_s = \frac{E_r - E_s}{E_r} \tag{8}$$

$$y_s = \frac{En_r - En_s}{En_r} \tag{9}$$

Onde E_r e E_s representam os valores da performance financeira para o cenário de referência e para o cenário alternativo, respetivamente. As variáveis En_r e En_s correspondem, respetivamente, à performance ambiental do cenário de referência e do alternativo.

Para complementar esta análise gráfica, é utilizado um índice (EEI_s), que fornece uma única classificação numérica para cada uma das simulações (Wu et al., 2023). O resultado deste índice fica também dependente da perspetiva da organização, sendo que para além da adição dos simples resultados de x_s e y_s, estes valores são multiplicados por um peso atribuído aos fatores financeiro (A) e ambiental (B), tal como mostram as seguintes fórmulas:

$$EEI_s = A * x_s + B * y_s \tag{10}$$

$$A + B = 1 \tag{11}$$

3. Modelo Dinâmico / Metodologia

O presente estudo envolve uma alteração daquilo que são as abordagens mais comuns à substituição de ativos. Os modelos clássicos são uma excelente ferramenta de apoio à decisão, mas para que os seus resultados sejam bem interpretados é necessário compreender as suas limitações.

Os modelos clássicos consideram apenas o ciclo de vida do equipamento em estudo, com o objetivo de encontrar o ponto ótimo de substituição para a empresa. A primeira limitação surge exatamente desta análise individual cujos resultados podem não estar de acordo com as metas da organização. Se a análise é feita individualmente, e como os modelos aplicados são meramente matemáticos, não é levada em consideração a necessidade da empresa continuar a operar, ou seja, não pressupõe a necessidade de adquirir um novo ativo após a venda do equipamento em estudo.

Para além disto, quando é feita uma análise apenas com modelos de custo, ou seja, que não incluem os proveitos da operação do ativo, é necessário acrescentar uma métrica à qual se possam associar os custos. Isto para ter uma perceção da rentabilidade dos custos. A título de exemplo, é possível que um ligeiro aumento de custos se traduza num grande crescimento de produto, ou que um ligeiro decréscimo de custos se reflita numa drástica redução da produção. Este tipo de análise não é viável através dos modelos clássicos.

Assim, é apresentada um pequeno desenvolvimento do modelo da Minimização do Custo Médio Total com redução ao valor presente, que passa pela introdução de uma nova variável que é o Custo Médio Total por Unidade produzida, calculada a partir da Equação 12, e pela incorporação de um novo ativo que representará a substituição do antigo equipamento., onde o ativo substituído se denomina de Defender, e o substituto de *Challenger*.

$$CT = \frac{C_n}{\frac{\sum_{j=1}^{n}(T_n)}{n}} \tag{12}$$

Onde CT representa o custo por tratamento, C_n o custo médio de posse do equipamento e T_n o número de tratamentos feitos no ano n.

Para compreender o efeito que a aquisição de um equipamento de maior performance tem na definição do ponto ótimo de substituição, é necessário simular a troca ao longo dos possíveis restantes anos de vida do equipamento a ser substituído, tal como mostra o fluxograma da Figura 4.

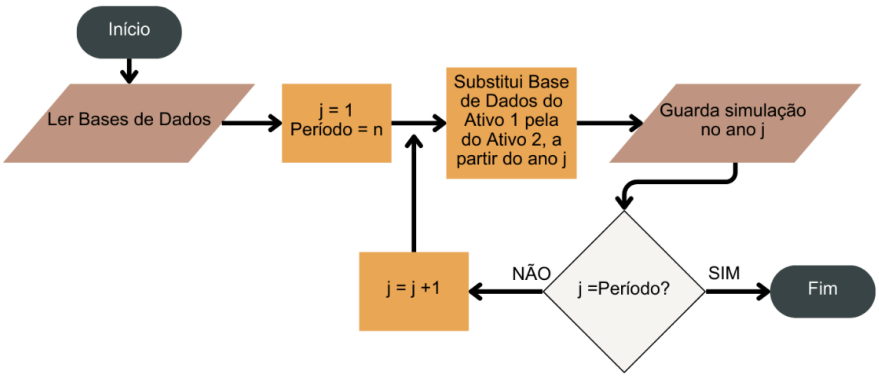


Figura 4. Fluxograma de simulações para o algoritmo desenvolvido

Cada simulação consiste na aplicação individual do modelo MCMT-RVP, calculando o custo médio total e o custo por unidade para cada ano. Portanto, cada simulação terá custos mínimos associados, que são comparados com os resultados das outras simulações para se obter o custo mínimo geral (Figura 5).

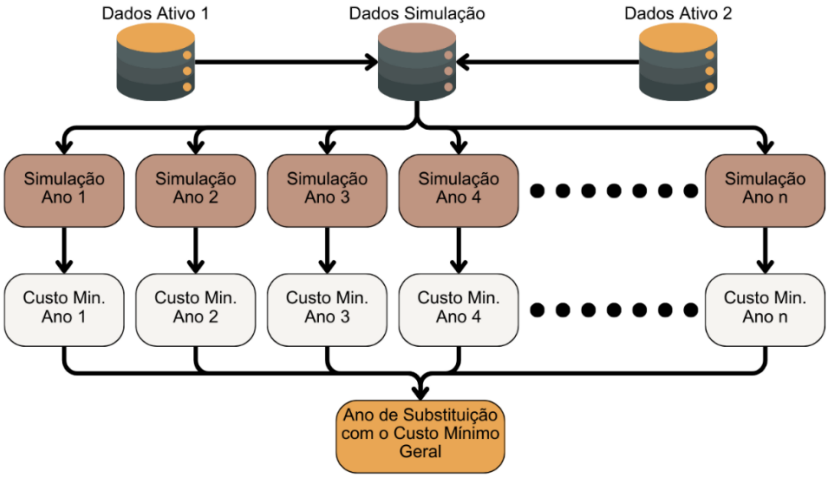


Figura 5. Ilustração dos processos para obter ano ótimo de substituição

Através desta metodologia, a única equação que necessita de reformulação é a Equação 2 , passando a ser calculada da seguinte maneira:

$$C_n'' = \frac{TI - \frac{VC_n}{(1+i_A)^n}}{n} \tag{13}$$

Sendo que,

$$TI = \begin{cases} VA_D, & j \leq k \\ VA_D + VA_C - VCD_{k,}, & j > k \end{cases} \tag{14}$$

Onde:

- TI – Investimento Total
- VA_D – Valor de aquisição do ativo Defender
- VA_C – Valor de aquisição do ativo Challenger
- $VCD_{k,}$ - Valor de cessão do ativo Defender no ano de substituição, k

Dado que esta abordagem é iterativa e requer um trabalho muito repetitivo por parte do utilizador, foi gerado um código (Figura 6) para fazer todo o processo de análise de forma automática, utilizando apenas como input os datasets do equipamento substituído (Defender) e do equipamento substituto (Challenger).

Início

1. **Input**: Dataset Defender e Dataset Challenger
2. Para cada ano Y em número de simulações k faz:
3. Concatenar Dataset Challenger com Dataset Defender, a partir do ano Y
4. Calcula todos os custos médios anuais, Cn e CT
5. Identifica o Cn e CT mínimos
6. Identifica Cn e CT no ano Y+10
7. Guarda os dados da simulação no Dataset Y
8. **Output**: Dataset Y, Cn e CT mínimos, Cn e CT no ano Y+10

Fim

Figura 6. Pseudocódigo base do algoritmo desenvolvido para o modelo dinâmico de substituição

Para o estudo do impacto nas alterações climáticas, foi adotada uma abordagem de encontro à metodologia utilizada nos modelos de substituição de ativos.
A análise foi aplicada para calcular o impacto durante a fase de utilização do equipamento, a nível de consumo energético. A quantidade de $kgCO_2eq$ emitido foi calculada através dos consumos energéticos anuais do equipamento, obtidos através da medição direta com um analisador trifásico durante uma semana, e posteriormente multiplicados pelo fator de emissão de gases com efeito de estufa da Eletricidade produzida em Portugal, disponibilizado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2023).

Por fim, de modo a obter resultados de emissão de $kgCO_2eq$ médios é utilizada uma adaptação do MCMT que não emprega a componente C_n'', sendo o cálculo das emissões médias totais feito da seguinte maneira:

$$CE_n = \frac{TE + E_n}{n} \tag{15}$$

Em que,

$$TE = \begin{cases} EA_D, & j \leq k \\ EA_D + EA_C, & j > k \end{cases} \tag{16}$$

Onde:

- CE_n – Emissões médias totais
- TE – Total de emissões de aquisição dos ativos, associadas ao fabrico
- EA_D – Emissões de aquisição do ativo Defender, associadas ao fabrico
- EA_C – Emissões de aquisição do ativo Challenger, associadas ao fabrico
- k – Ano de substituição

4. Caso de Estudo

O caso de estudo apresentado reflete a análise do ponto ótimo de substituição de um equipamento médico de uma unidade de saúde em Portugal.

Dados e Pressupostos

Este modelo utiliza como base valores de custo obtidos através de um Life Cycle Costing para o ativo que será substituído, o Defender, enquanto os dados do ativo substituto, Challenger, que foram estimados para simular uma versão do Defender com melhor performance. Os dados base expostos na Tabela 10.Tabela 10, onde VA_D *e* VA_C representam o valor de aquisição do Defender/Challenger, CM_{jD} *e* CM_{jC} o primeiro valor co contrato de manutenção do Defender/Challenger, CO_{jD} *e* CO_{jC} o primeiro valor dos custos operacionais do Defender/Challenger e $Tr_{100\%\,AD}$ *e* $Tr_{100\%\,AC}$ o número de tratamentos possível com 100% de disponibilidade do Defender/Challemger.

Tabela 10.Dados base dos ativos

$VA_D = 2{,}500{,}000$ €	1º $Ano\ CM_{jD} = 215{,}000$€	1º $Ano\ CO_{jD} = 130{,}000$€	$Tr_{100\%\,AD} = 12{,}000$
$VA_C = 3{,}000{,}000$ €	1º $Ano\ CM_{jC} = 260{,}000$€	1º $Ano\ CO_{jC} = 140{,}000$€	$Tr_{100\%\,AC} = 15{,}000$

Os custos operacionais (OPEX) estão divididos entre os custos de mão de obra, os custos energéticos e os custos de manutenção dos equipamentos.
A mão de obra é baseada apenas nos salários dos profissionais de saúde envolvidos no processo de tratamento no equipamento, nomeadamente os assistentes operacionais, assistentes técnicos e físicos médicos.
Por sua vez, os custos energéticos foram calculados através de consumos obtidos com um analisador energético trifásico, instalado no equipamento em estudo durante uma semana.

Os custos de manutenção têm como base os valores publicados dos contratos de manutenção com o fornecedor do equipamento, aumentando de forma consistente com a inflação. Os valores futuros são estimados de acordo com a seguinte equação:

$$CM_j = \begin{cases} CM_{j-1} * (1+f) * (1+2\%), & j \leq 10 \\ CM_{j-1} * (1+f) * (1+5\%), & j > 10 \end{cases} \quad (17)$$

Onde os custos de manutenção para cada ano (CM_j), aumentam com a inflação (f) e com uma taxa que representa a obsolescência do ativo e o risco do fornecedor de serviços de manutenção, dado que o fabricante apenas garante peças de substituição para 10 anos após a produção do equipamento.
Para o *Challenger*, é também simulado o período de garantia de 2 anos após a aquisição do novo equipamento.

Dada a dificuldade de obter valores de mercado futuros para os equipamentos, os valores de cessão são modelados através dos métodos de depreciação previamente apresentados. Para o desenvolvimento do estudo de substituição dos ativos com a nova abordagem, foram utilizados apenas os valores do método da soma dos dígitos.

O número de tratamentos calcula-se através da seguinte fórmula:

$$Nº\ Tratamentos = Tr_{100\%\,A} * EUE = Tr_{100\%\,A} * \frac{Tempo\ Total\ de\ Utilização}{Tempo\ Disponível * Downtime} \quad (18)$$

Onde o número total de tratamentos possíveis com uma disponibilidade do equipamento de 100% ($Tr_{100\%\,A}$) é multiplicado pela eficácia de utilização do equipamento (EUE), que se resume à multiplicação da disponibilidade operacional do ativo com a sua taxa de ocupação.

Adicionalmente, neste modelo são utilizadas taxas que evidenciam o valor do dinheiro ao longo do tempo, sendo elas a taxa de inflação que se reflete no aumento dos custos de funcionamento e de manutenção dos equipamentos, e a taxa aparente que atualiza os custos para o valor presente
Os dados utilizados para a taxa de inflação foram retirados dos Índices de Preços no Consumidor (IPC) da PORDATA, e os valores da taxa aparente são definidos como os registos da taxa Euribor a 12 meses, que representam uma taxa de juro inflacionada com o risco inerente.

Resultados

Os resultados do modelo são apresentados em dois tipos de gráficos distintos. Tal como está representado na Figura 7, os dois gráficos da parte superior mostram o mínimo custo médio anual e o mínimo custo médio por tratamento que ocorre em cada simulação (e.g. se o Defender for substituído no 12º ano, qual seria o valor do mínimo custo médio anual que seria possível obter?). Estes resultados, apesar de transmitirem bastante informação sobre os pontos de substituição dos ativos, deve ser analisado de forma cuidadosa pois são apresentados os custos mínimos sem que seja indicado o ano em que isso acontece.
Desta forma, os dois gráficos da parte inferior representam o custo médio por tratamento e o custo médio anual que ocorre depois de terem passado 10 anos da substituição do ativo. Esta representação é necessária para que seja possível comparar os resultados das simulações de forma mais completa, tendo um ponto comum no tempo que representa o período de vida útil que o fabricante indica para um equipamento novo.
De modo complementar, todos os gráficos apresentam a hipótese de o ativo ser substituído por um equipamento exatamente igual, Defender (representado a laranja), ou por um ativo de melhor performance, Challenger (representado a azul), de modo a perceber a importância na consideração de novas tecnologias na substituição de ativos.

Através da análise dos resultados económicos na Figura 7, com base no custo médio anual não é possível indicar um ponto de custo mínimo, para o número de simulações feitas neste caso de estudo. No entanto, os resultados dos custos médios por tratamento apresentam uma inversão, o que indica um ponto de custo médio mínimo que, em termos meramente económicos, representaria o ponto ótimo de substituição do ativo.

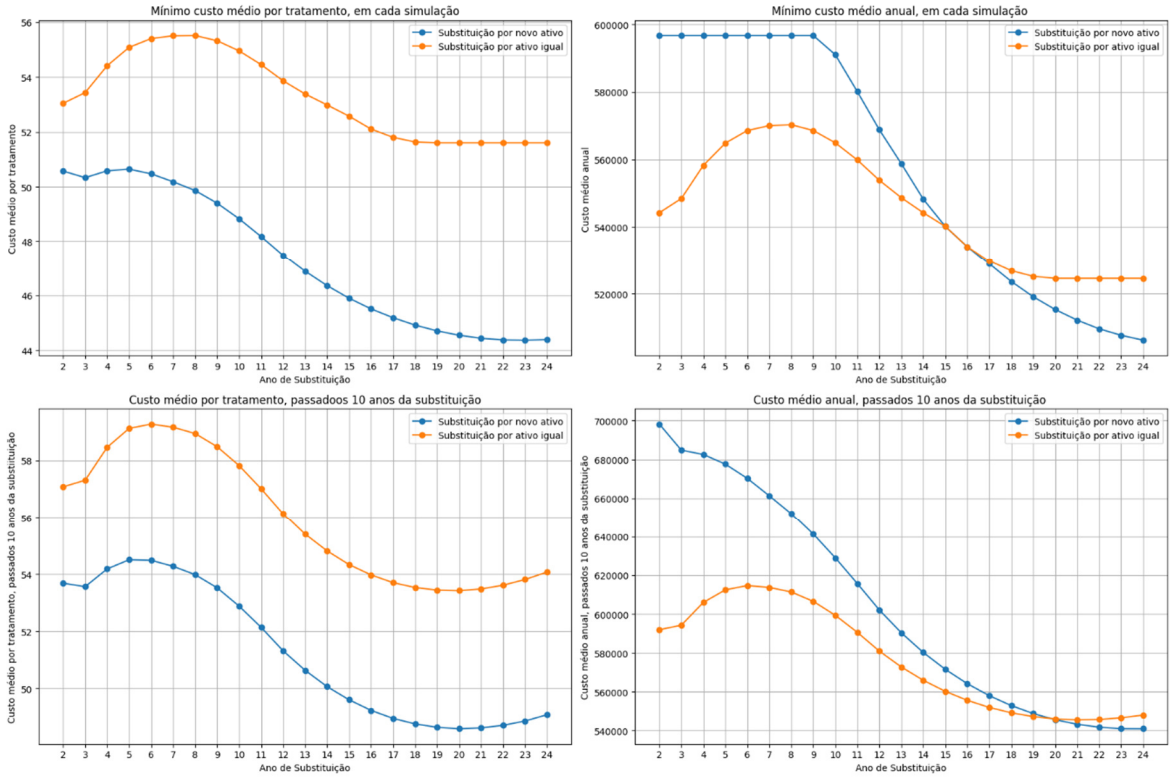


Figura 7. Resultados da análise económica do modelo dinâmico de substituição de ativos

A componente ambiental, de forma análoga à Figura 7, tem os gráficos representados na 8 divididos entre emissões mínimas médias para cada ano de simulação na parte superior, e em emissões médias depois de 10 anos de substituição.
Os resultados mostram uma tendência decrescente contínua, sem qualquer indício de inversão. Este comportamento é expectável, por vários fatores tal como, evolução da produção de energia para fontes mais renováveis, com menor impacto ambiental, o facto de não ser considerado o impacto de descarte dos equipamentos, fazendo com que o impacto apenas dependa das emissões de produção e utilização.

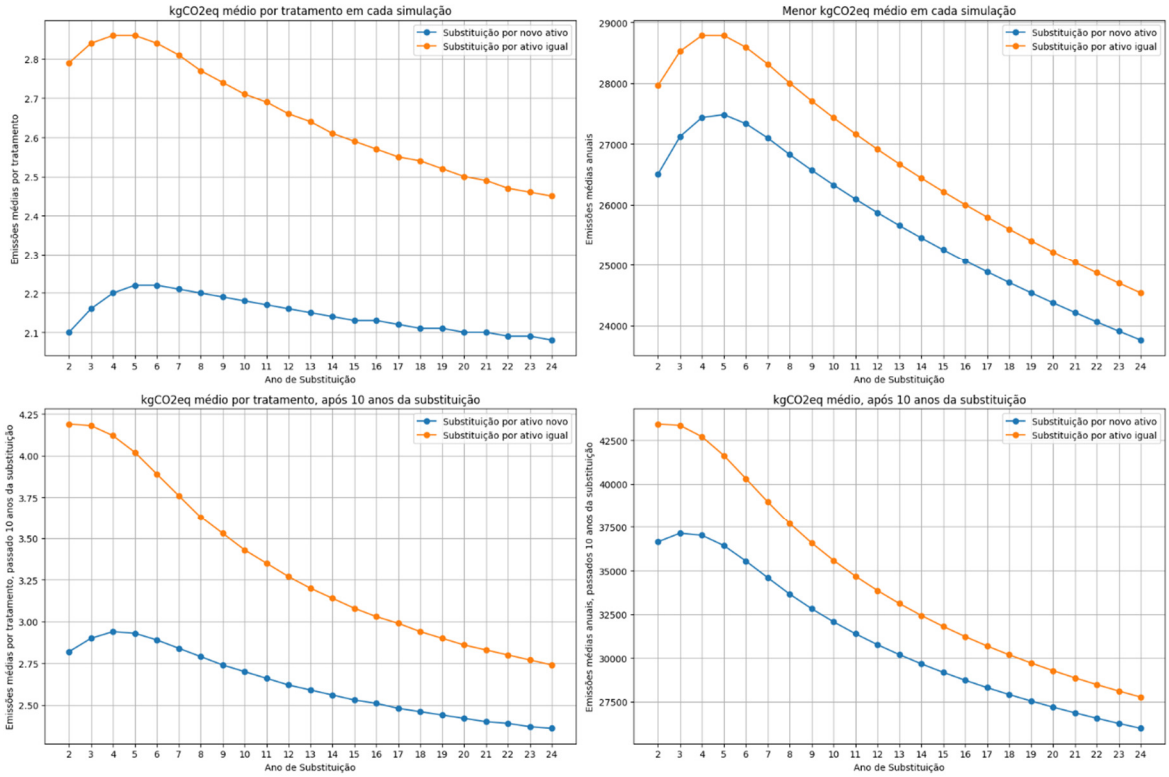


Figura 8. Resultados da análise ambiental do modelo dinâmico de substituição de ativos

Eco-Eficiência

Para realizar a análise de Eco-Eficiência, é necessário calcular a diferença na relação entre os valores obtidos em cada uma das simulações com os valores de referência. Para este caso de estudo, são utilizados os valores correspondentes ao 10º ano após a substituição do Defender, para cada cenário de substituição.
Sendo assim, os valores de referência equivalem aos resultados obtidos no 10º ano após a substituição no ponto ótimo por um ativo exatamente igual ao Defender, que segundo a aplicação simples do modelo MCMT-RVP, sugere que seja no 18º ano.

A Figura 9 mostra como se comportam os resultados de cada simulação, em que cada ponto representa um ano de substituição diferente. Aqui é possível visualizar, de outra perspetiva, a tendência já representada nos gráficos acima de que em termos de impacto ambiental, quanto mais tarde for feita a substituição do ativo menor será a quantidade de $kgCO_2eq$ emitida, quer anualmente, quer por tratamento. Portanto, nesta perspetiva ambiental, e com base nas 24 simulações feitas, o melhor ponto para substituir o ativo é no 24º ano.
Em termos de impacto económico, o gráfico também mostra que o ponto com o custo por tratamento mais favorável é o 20º ano.

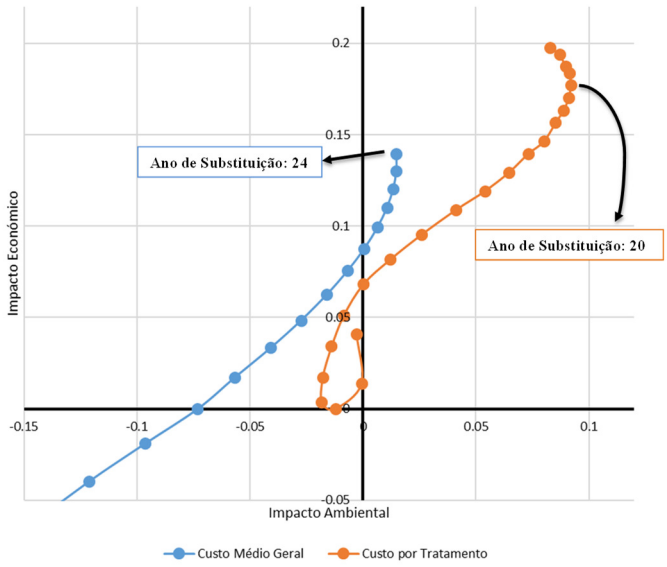


Figura 9. Gráfico de Eco-Eficiência com dados do 10º ano após substituição

Assim, com os resultados expostos em duas variáveis diferentes, cabe à organização perceber qual seria o ponto de substituição mais favorável, que esteja mais alinhado com o seu plano estratégico. Para isto pode ser calculado o Índice de eco-eficiência que utiliza uma pesos relacionados com os fatores ambientais e económicos para apoiar a tomada de decisão.
Neste caso de estudo, foram assumidos pesos de igual magnitude para ambos os os fatores, logo cada um terá um peso de 0,5 para obter os resultados expostos na Tabela 11.

Tabela 11. Índice de Eco-Eficiência com dados do 10º ano após substituição

Ano de Substituição	EE Index	
	Custo Médio Geral	Custo por Tratamento
10	-0.1038	0.0469
11	-0.0804	0.0606
12	-0.0578	0.0751
13	-0.0367	0.0865
14	-0.0197	0.0969
15	-0.0037	0.1063
16	0.0105	0.1132
17	0.0231	0.1209
18	0.0343	0.1261
19	0.0441	0.1306
20	0.0528	0.1345
21	0.0604	0.1376
22	0.0669	0.1385
23	0.0725	0.1405
24	0.0772	0.1401

Concluindo os resultados da análise de Eco-Eficiência, é de fácil perceção que, com uma análise de duas categorias, neste caso ambiental e económica, o ponto ótimo de substituição deste equipamento por um novo ativo, dá-se em anos diferentes daqueles que seriam selecionados no caso de análises individuais a cada uma das vertentes.
Na perspetiva apenas ambiental, a solução mais favorável seria manter o ativo o máximo de tempo possível para maximizar a sua utilização ao mesmo tempo que se reduz o número de emissões anuais médias, que no caso desta análise seria no 24º ano.
Já na vertente económica, o aumento dos custos de manutenção de um equipamento, que é geralmente acompanhado por um aumento de downtime e consequentemente uma redução do número de tratamentos, faz com que seja atingido um ponto ótimo de substituição onde os custos são mínimos, representados neste estudo pelo 20º ano de vida.

No entanto, e assumindo uma preocupação pelas duas perspetivas por parte da organização, chega-se à conclusão de que o ponto de substituição mais favorável para satisfazer as perspetivas ambientais e económicas, é o 23º/24º ano, tal como indicado pelo Índice da Tabela 11.

5. Conclusão

Este estudo mostra a importância da consideração das novas tecnologias existentes no mercado que, dependendo do ano de substituição, podem resultar simultaneamente em grandes poupanças para as organizações ou num aumento de produtividade com a manutenção dos custos. Para além disso, mostra como uma análise de várias categorias pode influenciar os resultados, neste caso, como a complementaridade da vertente económica com a vertente ambiental altera o ponto ótimo de substituição do ativo.

Os resultados do estudo são enriquecedores para que o gestor de ativos, ou o responsável pelas decisões tenha uma perspetiva sobre o comportamento financeiro e ambiental ao longo do seu ciclo de vida. Ainda assim, é necessário compreender também as limitações do modelo, que podem ser interpretadas como desafios para compreender de forma mais clara a robustez dos resultados.
As simulações são feitas com base em previsões dos valores futuros, significando que existe uma grande incerteza nos resultados e, portanto, esta análise deve ser feita anualmente, para que sejam introduzidos cada vez mais dados reais, diminuindo a incerteza dos dados futuros.
As simulações mostram que uma das variáveis com maior impacto neste cado de estudo, devido à tipologia do equipamento alvo, são os custos de manutenção. Esta conclusão traduz-se numa grande necessidade de desenvolver modelos de manutenção preditiva, que ajudem o gestor de ativos a reconhecer tendências de falha para o equipamento. Os esforços nesta direção podem levar a um melhor rendimento na utilização do ativo, ao mesmo tempo que se reduzem os custos associados e quebras nos tratamentos.
O modelo aplicado indica que o ponto ótimo de substituição, de acordo com as variáreis inseridas, é o 23º/24º ano. Ainda assim, este resultado pode não significar que esta seja a melhor solução para a organização, visto que o modelo não tem em consideração informação qualitativa que pode resultar em parâmetros fulcrais para a tomada de decisão. Geralmente, para equipamentos médicos, a qualidade e detalhe obtidos são altamente relevantes, pois é a partir deles que são feitos os diagnósticos aos pacientes. Este tipo de dados tem de estar disponível de forma quantitativa para que possam ser aplicados a modelos matemáticos, sendo que em trabalhos futuros, poderão ser utilizados métodos como a lógica difusa para ultrapassar o problema.

Na perspetiva de uma unidade de saúde pública, também será interessante colocar a pergunta de até que ponto é que a organização se importaria de aumentar os custos para melhorar a quantidade ou qualidade dos tratamentos. Tal como é exemplificado com os dados do caso de estudo, o Challenger tem a capacidade de fazer mais tratamentos por ano, significando que quanto mais cedo for feita a substituição, mais tratamentos serão feitos no mesmo intervalo de tempo.
Para futuros trabalhos, propõe-se o desenvolvimento de um modelo dinâmico semelhante com base no modelo Global Life Cycle Investment, que por sua vez, tem em consideração os rendimentos provenientes da utilização de um ativo. Desta forma, a análise do ponto ótimo de substituição deixaria de ser feita em busca do momento de custos mínimos, mas com o objetivo de encontrar o ponto de maior rendibilidade, tornando a análise ainda mais completa.

Referências

APA. (2023). Fator de emissão de gases com efeito de estufa da Eletricidade produzida em Portugal. https://www.apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/20230427/FE_GEE_Eletricidade2023rev3.pdf

Caiado, R. G. G., De Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency—A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 165, 890–904. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.166

El-Akruti, K., Dwight, R., Zhang, T., & Al-Marsumi, M. (2015). The Role of Life Cycle Cost in Engineering Asset Management. Em P. W. Tse, J. Mathew, K. Wong, R. Lam, & C. N. Ko (Eds.), Engineering Asset Management—Systems, Professional Practices and Certification (pp. 173–188). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3_17

Farinha, J. M. T. (2018). Asset maintenance engineering methodologies. CRC Press, Taylor & Francis Group

Heijungs, R. (2022). Ratio, Sum, or Weighted Sum? The Curious Case of BASF's Eco-efficiency Analysis.

ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 10(27), 8754–8762. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c01073

ISO 14040:2006—Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. (2006). https://www.iso.org/standard/37456.html

ISO 55000:2014—Asset management—Vocabulary, overview and principles (55000:2014). (2014).

https://www.iso.org/standard/55088.html

Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2018). Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. Sustainability, 10(12), 4759. https://doi.org/10.3390/su10124759

Maxime, D., Marcotte, M., & Arcand, Y. (2006). Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry. Journal of Cleaner Production, 14(6–7), 636–648. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.07.015

Müller, K., Holmes, A., Deurer, M., & Clothier, B. E. (2015). Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand. Journal of Cleaner Production, 106, 333–342. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.049

Oliveira, J. A. N. de. (1982). Engenharia Econômica: Uma abordagem às decisões de investimento. McGraw-Hill.

Perrin, R. K. (1972). Asset Replacement Principles. American Journal of Agricultural Economics, 54(1), 60–67. https://doi.org/10.2307/1237734

Raposo, H., Farinha, J. T., Ferreira, L., & Galar, D. (2017). An integrated econometric model for bus replacement and determination of reserve fleet size based on predictive maintenance. Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability, 19(3), 358–368. https://doi.org/10.17531/ein.2017.3.6

Witik, R. A., Teuscher, R., Michaud, V., Ludwig, C., & Månson, J.-A. E. (2013). Carbon fibre reinforced composite waste: An environmental assessment of recycling, energy recovery and landfilling. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 49, 89–99. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.02.009

Wu, M., Sadhukhan, J., Murphy, R., Bharadwaj, U., & Cui, X. (2023). A novel life cycle assessment and lifecycle costing framework for carbon fibre-reinforced composite materials in the aviation industry. The International Journal of Life Cycle Assessment, 28(5), 566–589. https://doi.org/10.1007/s11367-023-02164-y

ID09
Codificação de Equipamentos na Moldetipo Group

Diogo Pedroso ([1]), Ana Vieira ([1,2,3,4]), Hugo Raposo ([1,2])
diogo.m.pedroso@gmail.com, avieira@isec.pt, hugo.raposo@isec.pt

([1]) Área de Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal
([2]) RCM^{2+} Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Portugal
([3]) CISE—Electromechatronic Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior, Portugal
([4]) Ci2 - Smart Cities Research Center, Polytechnic Institute of Tomar, Portugal

Resumo

A gestão de ativos torna-se uma questão-chave na indústria de fabricação. Com a crescente complexidade dos sistemas de produção, torna-se difícil implementar um modelo de gestão eficaz e rentável dos dispositivos necessários à correta execução dos ciclos de produção planeados. Neste contexto, a adoção dum sistema de identificação para apoiar a rastreabilidade e a recolha de dados ao longo do ciclo de vida de ativos torna-se um requisito fundamental na gestão dos ativos. Neste sentido, a capacidade de localização de ativos, em tempo real, tem estado na vanguarda dos sistemas de produção, manutenção e da indústria 4.0.
O presente artigo apresenta uma proposta de codificação de equipamentos numa empresa de engenharia e produção de moldes. Codificar os ativos é essencial para o bom funcionamento das empresas, desempenhando um papel fundamental na gestão de ativos e no sistema de gestão da manutenção, uma vez que proporciona uma estrutura organizada e eficiente para identificar, rastrear e efetuar manutenções aos ativos nas organizações. A implementação de um sistema de codificação alinhado às exigências do serviço de manutenção é determinante para o sucesso das operações de manutenção. Quando integrado num CMMS, este sistema de codificação permite apoiar o gestor da manutenção, fornecendo informação útil de forma rápida.
Neste artigo resume-se o estudo realizado com vista à implementação dum sistema de gestão de informação e descreve-se o processo de validação de um sistema de codificação com uma estrutura de dois atributos que compreende a identificação do tipo de ativo, bem como o seu número identificativo na empresa Moldetipo Group.

Palavras-Chave: Gestão de Ativos, Codificação de Equipamentos, Manutenção, CMMS

1. Introdução

A organização, codificação e designação dos equipamentos é um domínio muito importante para o bom funcionamento de qualquer sistema de gestão de manutenção e de gestão de ativos. Um sistema bem estruturado permite uma identificação rápida dos ativos, facilitando o planeamento e execução de atividades de manutenção (Wang et al., 2021).
Deste modo, qualquer equipamento deverá ser codificado e registado no sistema de informação, contendo descrito o conjunto de características técnicas e identificativas, apropriadas ao conjusto de ativos. A Ficha Técnica de um Equipamento é um documento essencial que serve como agregador de todas as informações relevantes sobre o ativo e que serão essenciais para a gestão de atividades de manutenção, proporcionando uma base de dados acessível.
Uma das possíveis estruturas para codificar os equipamentos que vão ser objeto da Gestão de Ativos, considera informação agrupada de acordo com três vertentes (Li & Xia, 2023) (Vieira, 2003):

- Localização funcional: Determina a Grande Família onde o equipamento se encontra instalado. Constituído por quatro dígitos indica o Código de Edifício;
- Centro de Custo: Determina o seu posicionamento em termos de custeio. Constituído por um código de dois dígitos;
- Bilhete de Identidade: Indica univocamente o subsistema (equipamento). É composto por três campos. O primeiro, constituído por quatro dígitos identifica o subsistema (tipo de equipamento), o segundo, constituído por três dígitos identifica o local do edifício onde se encontra instalado, o terceiro, constituído por três dígitos designa um número de ordem sequencial.

Os sistemas computadorizados de gestão de manutenção, normalmente designados por CMMS (*Computerized Maintenance Management System*), têm como objetivo primordial garantir o bom funcionamento dos

equipamentos/ativos, definidos pela gestão como objetos de manutenção, dentro das condições de funcionamento para as quais foram concebidos, ao menor custo possível, prologando ao máximo a sua vida útil (Farinha, 2011). Para que tal aconteça, todos os processos alcançados pelos sistemas de gestão de manutenção (pedidos de intervenção, manutenções corretivas, manutenções sistemáticas, indisponibilidades, registos de funcionamento ou leituras de parâmetros relevantes) incidem sempre em equipamentos que, em determinadas situações, se podem agrupar em sistemas funcionais (equipamentos que, em conjunto, contribuem para determinada função).
A etiquetagem física de equipamentos é essencial na identificação de equipamentos de manutenção. A existência de uma identificação física nos equipamentos, ou Tag, como normalmente é designada, transmite uma imagem de eficiência e organização da própria empresa para os seus colaboradores e para o exterior. Existem inúmeras formas e processos para identificação física dos equipamentos, sendo as mais conhecidas e aceites pelo mercado como aplicáveis na identificação de objetos de manutenção, as seguintes: Código de barras, QR Code (*Quick Responsive Code*) e NFC (*Near field communication*).

Assim, este artigo foca-se em apresentar uma proposta de Codificação para a Gestão da Manutenção e tem como objetivo principal estabelecer um sistema claro e eficiente de codificação para ativos na Moldetipo Group.
O presente artigo está dividido em 4 secções:

- Na secção 1 relativa à Introdução é introduzido o tema, ressaltando a importância da codificação de ativos para o bom funcionamento dos sistemas de gestão da manutenção e gestão de ativos. Este capítulo também apresenta o contexto e os objetivos do estudo, destacando a necessidade de um sistema de codificação na Moldetipo Group. São descritos componentes dos sistemas mais comuns, incluindo a ficha técnica do equipamento e três vertentes da codificação, estabelecendo uma base teórica para a revisão bibliográfica, para a apresentação dos resultados e a sua subsequente discussão;
- Na secção 2 relativa à Revisão Bibliográfica é apresentada uma revisão da literatura existente sobre a organização, codificação e nomenclatura de equipamentos no contexto da gestão da manutenção e gestão de ativos. São apresentados diferentes métodos e sistemas utilizados em diversas indústrias, bem como uma discussão sobre tecnologias emergentes para a identificação de ativos, tais como códigos de barras, QR Codes e NFC. Também é explorada a utilização de sistemas CMMS e como podem ser integrados, beneficiando a organização da empresa. Este capítulo fornece uma base sólida de conhecimentos teóricos e práticos, contextualizando o estudo no panorama atual;
- Na secção 3 relativa aos Resultados e Discussão são apresentados os resultados do sistema de codificação e identificação de ativos desenvolvido, com base nas informações recolhidas diretamente no chão de fábrica – *Gemba Walks*. É detalhado como os dados são organizados numa base de dados, abrangendo informações como fabricante, descrição do equipamento e número de série, entre outras. São analisados os resultados obtidos, mostrando como o sistema de codificação proposto melhorou a organização dos ativos na Moldetipo Group. É realizada uma análise crítica dos resultados, interpretando-os comparativamente com a literatura revista e discutidas as principais limitações e vantagens do sistema;
- Na secção 4 relativa às Conclusões são tiradas as conclusões de todo o estudo e dadas sugestões de trabalhos futuros.

2. Revisão da Literatura

A procura por serviços de localização e identificação tem crescido rapidamente, tanto para ambientes interiores como para exteriores. Com o avanço de novas tecnologias, o *tracking* preciso dos ativos gerou grande interesse por parte das indústrias, uma vez que permite localizar, fazer a gestão da informação e comunicar com outras tecnologias (Ahmed et al., 2020).
Os sistemas de *tracking* apresentam dois tipos de componentes: identificação; e posicionamento. Quando conjugados, a unidade de identificação permite identificar o ativo a ser rastreado pela unidade de posicionamento. Para ambientes exteriores, o sistema de *tracking* mais utilizado é o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que fornece uma localização precisa. Para ambientes interiores, como armazéns ou instalações industriais, os sistemas mais utilizados atualmente são a identificação através de rádio frequências (RFID) e os códigos de barras (Ahmed et al., 2020).
O processo de modernização da gestão de ativos e equipamentos passou por diversas etapas ao longo do tempo, incluindo o registo manual, a gestão com códigos de barras e, mais recentemente, a gestão com códigos bidimensionais. Métodos tradicionais, como o registo manual, são ineficientes, com registos de informações de ativos incompletos e sem dados históricos, dificultando o acompanhamento do ciclo de vida completo dos ativos. Os códigos de barras apresentam limitações, como a baixa capacidade de informação, fraca proteção de segurança e pobre capacidade de correção de erros. Além disto, são facilmente danificados e, uma vez danificados, as informações dos ativos tornam-se inacessíveis (Wang et al., 2021).

A evolução dos processos de marcação tem uma importância histórica significativa na identificação, rastreio e gestão dos ativos. Esse desenvolvimento inclui a introdução de códigos de barras unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D), bem como o código Universal de Produtos (UPC). A invenção destes códigos de barras possibilitou a implementação da Identificação Única de Item (IUID) e melhorou consideravelmente a eficiência da gestão de ativos (Posada & Caballero, 2014).
A etiqueta código de barras é uma imagem (Figura 1) que consiste numa composição de barras com um conjunto de números por baixo. O conjunto destas barras e números representa vários dados que, quando traduzido, pode representar um determinado tipo de máquina. Os códigos de barras podem ser lidos com um scanner ótico que utiliza infravermelhos para registar e traduzir os códigos de barras da imagem para um dígito alfanumérico (Finžgar & Trebar, 2011).

Os QR Codes (Figura 2) são uma forma específica de código de barras bidimensional (2D) que armazena informações tanto na direção vertical quanto na horizontal, permitindo que carreguem uma quantidade de dados centenas de vezes maior do que os códigos de barras tradicionais. Esses códigos consistem em módulos pretos organizados num padrão quadrado sobre um fundo branco, capazes de codificar texto, URLs para aceder a páginas da web ou qualquer outro tipo de dados. Devido ao seu design eficiente, os QR Codes podem ser impressos em tamanhos pequenos e ainda assim ser lidos por leitores dedicados ou por smartphones equipados com câmaras. Esta versatilidade e capacidade de armazenamento tornam os QR Codes uma ferramenta poderosa para a identificação e rastreamento de ativos em diversos setores (Finžgar & Trebar, 2011).
O QR Code apresenta diversas vantagens, incluindo a sua pequena área, grande capacidade de armazenamento de informações, alta segurança, forte capacidade de correção de erros, identificação única de ativos, descrição detalhada dos atributos dos ativos, elevada resistência à interferência e adaptação a ambientes complexos. A tecnologia QR Code pode ser integrada em equipamentos móveis, permitindo o acesso imediato às instruções de operação e manutenção, bem como registos e históricos de manutenção dos ativos (Wang et al., 2021).



Figura 1 - Exemplo de código de barras (Finžgar & Trebar, 2011)

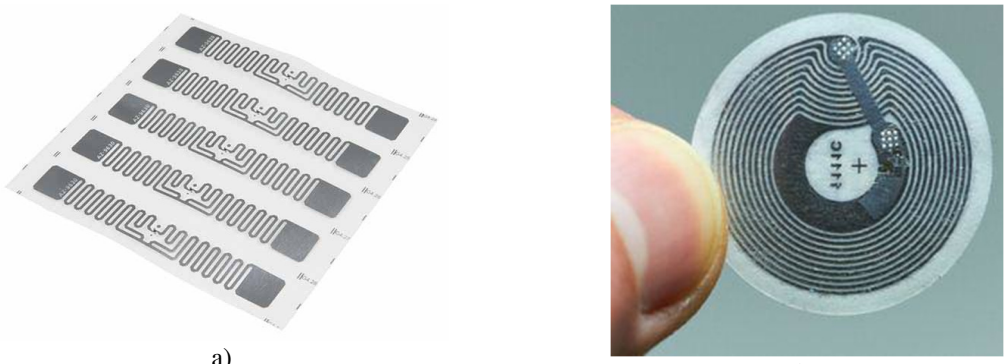


Figura 2 - Exemplo de QR Code, (qrcode.com)

Enquanto o sistema GNSS localiza e rastreia os ativos através da utilização de pontos de referência que atuam como agregados que aumentam a sua precisão e capacidade no ambiente exterior, os sistemas RFID, por outro lado, funcionam através da identificação por radiofrequência, permitindo a identificação e rastreamento dos ativos por meio de etiquetas eletrónicas (Figura 3-a)) (Rakshit & Sridhar, 2018).
Na tecnologia RFID existem diversos métodos de identificação, no entanto, o mais comum é armazenar um número de série que identifica um objeto e outras informações, num *micrcohip* que está ligado a uma antena - o *chip* e a antena, em conjunto, são designados de etiqueta RFID. A antena permite ao *chip* transmitir as informações de identificação a um *reader*. O *reader* converte as ondas de rádio da etiqueta RFID em informação digital e é depois transmitida para os computadores (Derakhshan et al., 2007).
Existem dois tipos de etiquetas RFID: as etiquetas RFID ativas; e as etiquetas RFID passivas. As etiquetas RFID ativas necessitam de uma fonte de energia própria, enquanto as etiquetas RFID passivas não requerem baterias, recebendo energia da antena leitora, cuja onda eletromagnética induz uma corrente na antena da etiqueta RFID (Saraubon et al., 2019).

As etiquetas RFID podem ser afetadas por ambientes exigentes, por exemplo, quando em contacto com metal ou líquidos. As frequências de sinal que a RFID utiliza também estão sujeitas a interferências, uma vez que são habitualmente utilizadas por outras tecnologias (Saraubon et al., 2019).
A tecnologia *Near Field Communication* (NFC) permite que dois dispositivos troquem dados quando estão localizados a uma distância de até 10 centímetros um do outro. O funcionamento do NFC envolve três componentes principais: um interrogador; um *transponder*; e uma etiqueta. A etiqueta NFC é composta por um *chip* NFC e uma antena em forma de bobine de fio (Figura 3-c)). O *chip* NFC contém memória suficiente para armazenar apenas uma pequena quantidade de dados. A etiqueta é passiva, o que significa que não possui fonte de alimentação própria. Em vez disso, a antena gera energia para o *micrcohip* quando a etiqueta é solicitada pelo leitor NFC (Saraubon et al., 2019).

A adição de dados a uma etiqueta NFC é conhecida como codificação. Os dados geralmente são armazenados usando a codificação NDEF (NFC *Data Exchange Format*). Cada registo NDEF contém um cabeçalho e uma carga útil. O cabeçalho possui informações importantes para o leitor, como a ID do registo, o seu comprimento e tipo de dados, enquanto a carga útil contém os dados que são trocados com o leitor/dispositivo NFC, como por exemplo URLs, números, nomes ou IDs de objetos/ativos. A quantidade real de dados que pode ser armazenada na etiqueta varia de acordo com o tipo de *chip* NFC utilizado (Saraubon et al., 2019).



a) b)

Figura 3 - Exemplo de etiquetas: a) RFID; b) NFC (Anibal & Armas, 2015)

A codificação emerge como um elemento fundamental na gestão estratégica das empresas industriais, facilitando a tomada de decisões e controlo operacional. Ao garantir uma identificação eficiente, a codificação permite fortalecer a resiliência das organizações e sustentar a sua competitividade em ambientes de mercado dinâmicos e desafiadores (Vieira, 2003).
Codificar os ativos é essencial para o bom funcionamento das atividades das empresas, desempenhando um papel fundamental na gestão de ativos, uma vez que proporciona uma estrutura organizada e eficiente para identificar, rastrear e efetuar manutenções aos ativos nas organizações.
A codificação é considerada a espinha dorsal de todo o sistema de gestão da manutenção, assim como um fator determinante para o sucesso das operações de manutenção. Uma codificação cuidada permite aumentar a eficiência do processo de manutenção, culminando na redução dos tempos de intervenção e, por conseguinte, na maximização da disponibilidade operacional dos ativos (Vieira, 2003).
A implementação de um sistema de codificação alinhado às exigências do serviço de manutenção representa uma mais-valia. Quando integrado ao Sistema de Gestão de Manutenção Computorizado (CMMS), este sistema de codificação permite apoiar o gestor da manutenção. Ao estabelecer diferentes sinergias eficientes com o CMMS, o gestor pode identificar todos os objetos pertinentes, facilitando a rápida identificação do número de equipamentos pertencentes a um mesmo sistema, contagem de unidades do mesmo tipo de equipamento, data de aquisição, entre outros dados (Farinha, 2011, 2018).
Permite ainda a atribuição sistemática de códigos ou identificadores aos ativos, facilitando a gestão eficiente e a recuperação da informação. Um sistema de codificação bem concebido ajuda na organização e categorização dos produtos, o que é crucial para uma gestão eficaz da produção e gestão da informação (Lemos et al., 2018).
Atribuir um código de identificação única para cada ativo assegura que os dados do ativo são guardados, privados e seguros, garantindo eficiência durante o processo. A informação mais comum a ser informatizada durante o processo de registo é (Li & Xia, 2023):

- Informação básica, como o tipo de ativo, localização e classificação;
- Informação técnica, como o histórico de manutenção e manuais de instrução;
- Informação de gestão, como a data de compra e garantias.

Na classificação da informação e nos trabalhos de codificação da indústria da energia, desde meados do século XX, os países industrialmente mais avançados da Europa e dos Estados Unidos formaram sucessivamente *Commodity Code Classification* (CCC), *Engineering Data File* (EDF), *Kraftwerk-Kennzeichensystem* (KKS) e outros sistemas de identificação, amplamente utilizados em projetos de engenharia (Qi et al., 2020).
Atualmente, a codificação KKS é a mais utilizada e o sistema de identificação mais maduro no mundo da indústria. A codificação KKS é um sistema de classificação sistemático e hierárquico, utilizando inicialmente para classificação e codificação dos ativos e sistemas na indústria da energia, nomeadamente nas centrais elétricas. O código KKS classifica os ativos de acordo com a sua localização de instalação e as suas funções e descreve a informação básica do equipamento e dos seus componentes de modo a facilitar a gestão do planeamento e operações de manutenção (Wang et al., 2021a; Qi et al., 2020b;Wei Chunming et al., 2010).

O sistema de codificação KKS pode conter dados com um conteúdo abrangente e informações completas, realizar o acompanhamento de todo o ciclo de vida dos ativos e equipamentos, fornecer uma plataforma para troca de dados para operações de manutenção, reduzir os custos de gestão dos ativos e facilitar a sua gestão (Wang et al., 2021a).
Os principais requisitos para implementação de um sistema de codificação KKS dizem-nos que: (1) o sistema deve ser suficientemente amplo e preciso para identificar todos os sistemas, peças e estruturas; (2) a capacidade de adaptação deve ser suficiente para novas tecnologias; (3) o código deve ter a mesma rotulagem nas várias fases de conceção, construção e manutenção, e a informação deve ser unificada em todo o ciclo de vida; e (4) a aplicabilidade deve ser mútua entre as diversas engenharias e deve ter a capacidade tecnológica, ponto de fixação e local (Wei Chunming et al., 2010).
A codificação KKS é representada por um sistema de codificação de quatro níveis, como ilustrado na Figura 4.

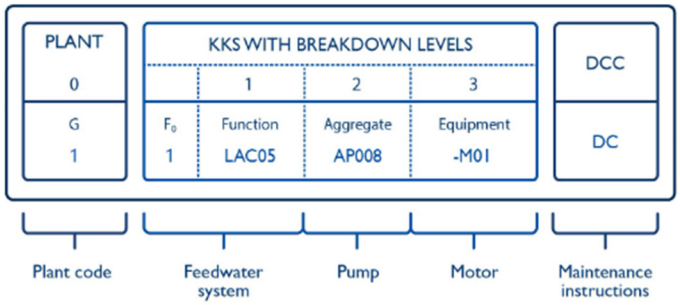


Figura 4 - Sistema de codificação KKS (fabasoft.com)

O primeiro nível, identificado na figura 4 pelo código *G1*, refere-se à instalação geral e designa a planta ou instalação onde o sistema ou equipamento está localizado; no segundo nível, a função do sistema ou equipamento, exemplificada na figura pelo código *LAC05*, especifica o sistema ou subsistema ao qual o equipamento pertence, como por exemplo, o sistema de alimentação de água (*feedwater system*); o terceiro nível é dedicado à unidade do equipamento, onde o código *AP008* é utilizado na figura para identificar uma unidade específica, como uma bomba, dentro do sistema de alimentação de água; e o quarto nível aborda os componentes individuais do equipamento, neste caso, o código *-M01* representa um motor associado à bomba identificada no nível anterior.
O código KKS é completo no seu conteúdo, flexível na sua utilização, rigoroso na estrutura, único na identificação e incorpora as regras técnicas dos processos principais de projetos de engenharia. O KKS apresenta-se como um sistema de codificação genérico e detalhado, muito utilizado em organizações mais complexas. Desta forma, o seu nível de complexidade pode ser considerado excessivo para muitas aplicações (Vieira, 2003;Qi et al., 2020;Wei Chunming et al., 2010).
Numa fábrica de injeção de moldes, a codificação KKS deve ser adaptada para classificar e categorizar diferentes tipos de equipamentos, máquinas e sistemas auxiliares. Um sistema de codificação adaptado pode ajudar a simplificar a gestão do inventário, programar manutenções e fazer um acompanhamento geral dos ativos da fábrica. Para organizações com menos de uma ou duas centenas de equipamentos, uma estrutura de codificação simples é suficiente, adequando uma estrutura com dois ou três níveis hierárquicos (Vieira, 2003).
No entanto, devem ser seguidos alguns princípios universais de codificação (Wei Chunming et al., 2010):

- Quando um número de codificação do elemento muda, o número de codificação deve ser reiniciado;
- O número de codificação pode ser sucessivo ou agrupado;
- O número de codificação também pode ser descontínuo;
- Uma vez estabelecido um sistema de codificação, este não deve ser alterado (mesmo que o processo de conceção mude, o número de codificação não deve ser alterado).

3. Resultados e Discussão

No âmbito do presente estudo, foi realizada uma recolha de informações relativas aos ativos, em chão de fábrica, da organização Moldetipo Group. As informações foram compiladas e organizadas numa base de dados desenvolvida em *Excel*. A escolha do *Excel* como plataforma para a base de dados deveu-se à sua flexibilidade e facilidade de uso, permitindo a inserção e análise de dados de maneira eficiente.
Os dados recolhidos incluem diversas características essenciais dos equipamentos, tais como:

- Designação;
- Fabricante;

- Descrição do equipamento;
- Número de série;
- Modelo;
- Ano de fabrico;
- Fornecedores;
- Observações.

A Tabela 1 apresenta exemplos dos dados recolhidos para um conjunto de três tipos de ativos ilustrativos.

Tabela 1 – Dados recolhidos no âmbito do desenvolvimento da base de dados

DESIGNAÇÃO	FABRICANTE	DESCRIÇÃO	Nº SÉRIE	MODELO	ANO DE FABRICO	FORNECEDOR	OBSERVAÇÕES
Máquina Injeção	TEDERIC	-	4600010	DE460	2020	Inautom	-
Controlador Temperatura	PP Figueiredo	-	-	24 Zone 300S	2020	PP Figueiredo	24 zonas
Estufa	Plastic machinery	Estufa MP	576/2005	EDB22	2005	-	35 kg

A criação da base de dados permitiu desenvolver o sistema de codificação e identificação de ativos, fornecendo um repositório centralizado de informações sobre cada equipamento. A estrutura da base de dados foi projetada para permitir a fácil atualização, com adição ou remoção de ativos e informações adicionais, conforme necessário. No caso particular da Moldetipo Group, pretende-se identificar o tipo de ativo, especificando a sua função. Deve ainda ser especificado o tipo de tecnologia inovativa de injeção, caso se verifique que os equipamentos pertencem a este tipo de tecnologia. Neste sentido, o código deve conter informação sobre a presença de tecnologia de injeção, o tipo de ativo e um número identificativo para cada ativo.
Para garantir a integridade dos dados e padronizar o processo de identificação dos ativos, foi elaborado um manual de codificação detalhado para a Moldetipo Group (Figura 5). Este manual serve como um guia abrangente que orienta todas as etapas do processo de codificação, desde a atribuição inicial dos códigos até a manutenção contínua do sistema.



Figura 5 - Manual de Codificação desenvolvido

O manual de codificação define os procedimentos para a verificação e validação dos dados, garantindo que cada ativo receba um código único e que todas as informações associadas estejam corretas e completas. Isso inclui a verificação de dados como o tipo de equipamento, o modelo, o número de série do fabricante, data da última intervenção e qualquer outra informação relevante que deva ser registada.
O manual detalha os passos específicos para o registo de novos ativos. Este processo inclui a identificação inicial, a aplicação das chapas de identificação, a atualização da base de dados de gestão de ativos e a verificação final para assegurar que todos os dados foram corretamente inseridos e vinculados ao sistema de gestão de ativos. A padronização deste processo é crucial para manter a integridade do sistema e garantir que todos os ativos sejam geridos de forma uniforme e eficiente.

O manual fornece também diretrizes para a atualização de informações quando ocorrem mudanças, como a substituição de peças, a realização de manutenções ou a realocação de equipamentos. Também inclui procedimentos para a retirada de ativos obsoletos do sistema, assegurando que a base de dados permaneça atualizada e precisa.
Além de servir como um guia prático, o manual de codificação também desempenha um papel educativo, treinando os funcionários envolvidos na gestão de ativos e na manutenção sobre as melhores práticas e os procedimentos padrão a seguir. A familiaridade com este manual é essencial para garantir que todos os membros da equipa sigam os mesmos protocolos, promovendo a consistência e a eficiência na gestão dos ativos.
O objetivo principal deste manual é a explicação detalhada da estrutura de codificação desenvolvida (Figura 5). O manual descreve, de forma clara e precisa, como os códigos são atribuídos a cada ativo. Esta estrutura de codificação foi projetada para ser intuitiva e sistemática, permitindo uma identificação rápida e precisa dos equipamentos. Cada código é composto por elementos específicos que indicam o tipo de equipamento e outras características relevantes.
Salienta-se que a estrutura de codificação e os processos de codificação resumidos no Manual de Codificação (Figura 5) resultaram de um trabalho iterativo para identificar a estrutura de codificação mais adequada. Após realizada uma produtiva reunião inicial com os técnicos de injeção da Moldetipo Group, foram delineadas várias diretrizes para a criação e implementação prática de um sistema de codificação de ativos.
Da reunião realizada resultou que, ao implementar um sistema de codificação na Moldetipo Group, é importante considerar os seguintes fatores:

- O tipo de ativos que devem ser codificados (máquinas, periféricos, consumíveis, etc.);
- A informação que deve ser codificada;
- O método de codificação, podendo este ser numérico, alfanumérico ou visual;
- O código deve ser simples e compreensível, facilitando a sua interpretação por parte do técnico.

A estrutura de codificação desenvolvida visa garantir uma identificação precisa e padronizada dos ativos dentro da empresa, aproveitando as vantagens dos sistemas CCC, EDF e KKS. A codificação foi dividida em dois campos, para facilitar a categorização e o reconhecimento imediato do tipo de equipamento e as suas características específicas. Esta abordagem permite simplificar a gestão da manutenção, permitindo uma rápida identificação e acesso às informações dos ativos.
O sistema proposto é dividido em dois atributos separados por um ponto (.), como ilustrado abaixo, gerando uma estrutura alfanumérica que permite facilitar a memorização e ilustração do tipo de equipamento:

XXX.NNNN
↓ ↓
Atributo 1 Atributo 2

A escolha de um código de dois campos foi feita com a intenção de oferecer uma hierarquia clara e informativa. Cada campo agrega detalhes específicos, fornecendo uma estrutura que é intuitiva e, ao mesmo tempo, adaptável. Nas reuniões realizadas com os técnicos da seção de injeção, foi possível identificar dois tipos principais de ativos:

- Máquinas injetoras;
- Periféricos necessários ao processo de injeção (estufas, agregados, controladores de temperatura, etc.).

Reconhecendo a importância de uma abordagem sistematizada, foi necessário dividir a codificação destas duas famílias de ativos para facilitar a identificação do tipo de ativo.
O primeiro atributo da codificação destina-se a identificar o tipo de ativo em questão. Esta abordagem permite simplificar a organização interna e otimizar a comunicação e a colaboração entre os diferentes setores da Moldetipo.
A base da estrutura deste primeiro campo passa pela categorização geral de cada ativo utilizando códigos que refletem o tipo de ativo (Tabela 2):

Tabela 2 – Códigos de categorização dos ativos (Atributo 1)

CÓDIGO	TIPO DE EQUIPAMENTO
INJ	Máquinas Injetoras
AGR	Unidade Agregada
CTP	Controlador de Temperatura
EST	Estufa
TER	Termoregulador
ROT	Prato Rotativo
ROC	Equipamento para tecnologia RocTool
WIT	Equipamento para tecnologia WIT

O segundo atributo da estrutura de codificação é representado pelo código de Bilhete de Identidade ou de Equipamento Individual, que desempenha um papel essencial na identificação única de cada ativo. Este campo é a peça-chave para uma diferenciação específica, permitindo um acompanhamento preciso de cada máquina ou ativo individual.
Este campo possibilita ainda a implementação de planos de manutenção específicos para cada ativo, adaptados às suas características individuais. Isto significa que a manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, pode ser estruturada de acordo com as necessidades específicas de cada máquina ou equipamento (Tabela 3).
Na tabela 3 está detalhada a estrutura do segundo atributo para os diferentes tipos de ativos (máquinas injetoras ou periféricos). Uma vez que no caso particular da Moldetipo Group não existem duas máquinas de injeção com a mesma capacidade em toneladas, a identificação é feita com base na sua capacidade de injeção, permitindo uma diferenciação clara e direta, ajudando na gestão do inventário e na execução de tarefas de manutenção; para os periféricos (como as estufas, unidades agregadas, controladores de temperatura, etc.), o segundo atributo é um número identificativo BI.

Tabela 3 – Estrutura do segundo campo para máquinas injetoras e periféricos (Atributo 2)

TIPO DE ATIVO	SEGUNDO ATRIBUTO
Máquinas Injetoras	Capacidade de Injeção
Periféricos	Número identificativo BI

3.1 Estrutura de Codificação para Máquinas Injetoras

As máquinas injetoras são fundamentais no processo produtivo e, devido à sua importância e complexidade, necessitam de uma codificação que não apenas as identifique, mas que também forneça informações essenciais sobre a sua capacidade. Desta forma, a estrutura de codificação para as máquinas de injeção utiliza os campos indicados na Tabela 4. Para ilustrar o código desenvolvido, Tabela 4 explica a aplicação da estrutura de codificação à uma máquina injetora com uma capacidade de injeção de 460 toneladas, representa na Figura 6. De acordo com o sistema de codificação desenvolvido, a identificação desta máquina será composta da seguinte forma:

INJ.460

Tabela 4 – Aplicação do sistema de codificação a máquinas injetoras

SISTEMA DE CODIFICAÇÃO PROPOSTO	ESTRUTURA DE CODIFICAÇÃO PARA A MÁQUINA INJETORAS DA FIGURA 6		
XXX.NNNN	**INJ**	**.**	**460**
↓ ↓	↓		↓
Atributo 1 Atributo 2	Atributo 1		Atributo 2
	Código de 3 dígitos que identifica a categoria do equipamento (Tabela 2)		Número que representa a capacidade da máquina, em toneladas (Tabela 3)

Esta estrutura facilita a gestão dos ativos, pois permite identificar rapidamente não apenas o tipo de equipamento, mas também a sua capacidade operacional. A codificação direta da capacidade no segundo campo elimina a necessidade de consultas adicionais, otimizando o tempo de resposta em situações de manutenção e operação.

3.2 Estrutura de codificação para equipamentos periféricos

Os periféricos, embora complementares às injetoras, abrangem uma variedade de equipamentos que suportam o processo produtivo. Para garantir que cada periférico possa ser identificado de forma única e clara, foi adotada a seguinte estrutura de codificação:

Tabela 5 - Estrutura de codificação para os equipamentos periféricos

ATRIBUTO	PRINCÍPIO
1	Corresponde ao tipo de equipamento, representado por um código de três letras cf. Tabela 2
2	Número sequencial que representa o equipamento em questão

Esta estrutura permite um controlo preciso e individualizado dos periféricos, facilitando a gestão da manutenção e inventário. O uso de um número sequencial garante que cada periférico possa ser rastreado e identificado de forma única, sem sobreposições.
Com o sistema de codificação criado, é possível gerir de maneira eficiente, os ativos da organização. Este tipo de codificação permite que se obtenham informações sobre a tecnologia utilizada, compreender o tipo específico de ativo em utilização e compreender as respetivas funções. Além disso, o sistema de codificação fornece um identificador único para cada ativo, facilitando o acompanhamento e gestão.
Para efetuar uma gestão eficiente de todos os ativos na secção de injeção da empresa, implementou-se um sistema de registo detalhado, atribuindo a cada um, um código único de identificação conforme a codificação anteriormente estabelecida. Esta abordagem visa facilitar o acompanhamento dos ativos, fornecendo informações relevantes, como a data de aquisição ou a data da última intervenção, de forma acessível.
Por exemplo, considere-se a estufa apresentada na Figura 7, presente nas instalações da Moldetipo.
Supondo que a estufa em questão é a primeira a ser codificada no sistema, o seu código, segundo o sistema de codificação desenvolvido, ficará:

EST.01

Onde:

- EST indica que o ativo é uma estufa (ver Tabela 2); e
- 01 representa o número sequencial do equipamento periférico no sistema de gestão de dados.



Figura 6 - Exemplo de máquina injetora presente nas instalações da Moldetipo



Figura 7 - Estufa presente nas instalações da Moldetipo

3.3 Identificação física de Ativos através de etiquetas

A escolha de chapas de zinco para a identificação (*tags*) dos ativos na Moldetipo Group foi feita após uma análise das opções disponíveis, tendo em conta diversos fatores que afetam o ambiente de trabalho no setor da injeção de plásticos. Uma das principais razões para a escolha destas chapas como etiquetas de identificação é a sua resistência a condições adversas. Num ambiente de injeção de plásticos, os ativos estão frequentemente expostos a produtos químicos, como diluentes de limpeza e desmoldantes, além de enfrentarem temperaturas bastante elevadas. Assim, este material garante que as informações permaneçam legíveis e intactas ao longo do tempo.
Outro fator importante é a resistência mecânica das chapas de zinco. O ambiente industrial num pavilhão de injeção de plásticos pode ser exigente, com riscos de impactos físicos e abrasão que podem danificar as etiquetas de identificação. As chapas de zinco oferecem uma robustez que outras opções, como etiquetas adesivas ou plásticas, não conseguem igualar. Essa resistência contribui para a longevidade das etiquetas de identificação, reduzindo a necessidade de substituições frequentes e, consequentemente, os custos de manutenção a longo prazo.
Além disso, a clareza e a precisão na gravação das informações são fundamentais para a gestão eficiente dos ativos. As chapas de zinco permitem uma gravação nítida, que resiste ao desgaste e à degradação ao longo do tempo. Isso é crucial para garantir que os dados importantes, como o código do ativo, tipo de equipamento, modelo e número de série do fabricante, permaneçam legíveis e acessíveis.
A integração de um QR Code nas chapas de zinco foi uma escolha estratégica para a Moldetipo Group. O QR Code facilita o acesso rápido às informações detalhadas sobre os ativos, através de dispositivos móveis. Esta funcionalidade é particularmente útil para as equipas de manutenção, que pode scanear o QR Code para obter dados críticos do equipamento, como o histórico de intervenções de manutenção e outras informações relevantes.
Além das vantagens técnicas, a fabricação das chapas de zinco é relativamente simples e económica, proporcionando uma solução custo-efetiva para a identificação dos ativos. A instalação dessas chapas nos equipamentos é direta e requer pouca manutenção, resultando numa redução dos custos operacionais ao longo do tempo.

Para garantir uma identificação precisa e eficiente dos ativos na Moldetipo Group, foi desenvolvido um template específico para as chapas identificativas (Figura 8), que inclui todas as informações essenciais necessárias à gestão eficaz dos equipamentos. A inclusão dessas informações visa facilitar não apenas a identificação dos ativos, mas também a categorização e o acesso a dados críticos para a manutenção e operação diária.

O *template* para as chapas identificativas contém as seguintes informações:

- **Código do Ativo**: identificador único que permite a rápida identificação e rastreamento do ativo dentro do sistema de gestão da empresa;
- **Tipo de Equipamento**: designação clara do tipo de equipamento (por exemplo, máquina de injeção, estufa, controlador de temperatura, etc.) facilitando a sua categorização;
- **Modelo**: informação sobre o modelo específico do equipamento, importante para a manutenção e reposição de peças;
- **Número de Série do Fabricante**: identificação única fornecida pelo fabricante, crucial para a garantia e suporte técnico;
- **QR Code**: quando lido, direciona diretamente à base de dados da gestão de ativos, onde é possível aceder a informações mais detalhadas sobre o histórico de manutenção, intervenções passadas, manuais, entre outros dados.



Figura 8 - Chapa de identificação desenvolvida para a Moldetipo Group

A implementação das chapas de zinco nos ativos da Moldetipo Group seguiu um processo estruturado. Inicialmente, foi desenvolvido o *template* padronizado (conforme ilustrado na Figura 8) que especifica todas as informações essenciais a serem incluídas nas chapas. Depois de encomendadas e produzidas as chapas, foi conduzido o processo de aplicação das chapas nos ativos, como podemos verificar na Figura 9, garantindo que cada equipamento fosse devidamente identificado.
Com as chapas devidamente instaladas, cada ativo é registado no sistema de gestão de ativos desenvolvido, incluindo a associação do código do ativo e do QR Code às informações na base de dados. Esta instalação garante ainda que as informações essenciais sobre cada ativo estejam sempre acessíveis, contribuindo para uma gestão mais eficiente do processo de manutenção.



Figura 9 - Instalação da chapa de identificação na máquina injetora

4. Conclusão

A implementação de um Sistema de codificação de ativos na Moldetipo Group demonstrou a importância de uma abordagem estruturada para a gestão eficiente de equipamentos num ambiente industrial. A complexidade crescente dos sistemas de produção e a necessidade de uma gestão eficaz dos dispositivos utilizados nos ciclos de produção tornam essencial a adoção de um sistema de identificação para a rastreabilidade e recolha de dados ao longo do ciclo de vida dos ativos.

O desenvolvimento da base de dados permitiu à Moldetipo Group compilar e organizar informações críticas sobre os seus equipamentos, facilitando a implementação da codificação e a identificação física dos ativos. A padronização dos dados através de um manual de codificação, garantiu a integridade e uniformidade do sistema, essencial para o sucesso das operações de manutenção. O sistema de codificação criado utiliza uma estrutura de dois atributos – tipo de ativo e número identificativo (capacidade injetora em toneladas para o caso das máquinas injetoras e BI para o caso dos periféricos) – que se revelou intuitivo e eficaz, facilitando a categorização e identificação rápida dos ativos.

A adoção de chapas de zinco para a identificação física dos ativos assegurou a durabilidade e legibilidade das informações, mesmo em ambientes industriais adversos. Num setor como o de injeção de plásticos, onde os equipamentos estão frequentemente expostos a produtos químicos, temperaturas elevadas e desgaste mecânico, a robustez das chapas de zinco garante que as informações de identificação permaneçam intactas e legíveis ao longo do tempo. Esta durabilidade reduz a necessidade de substituições frequentes, resultando em menores custos operacionais. A gravação resiste ao desgaste e à degradação, assegurando que todos os dados relevantes, como o código do ativo, tipo de equipamento, modelo, e número de série do fabricante, permaneçam legíveis e acessíveis. Este nível de detalhe é crucial para a organização interna, permitindo que os técnicos identifiquem rapidamente os equipamentos e acedam às informações necessárias para a realização de manutenções. Desta forma, a simplicidade e a economia na fabricação das chapas de zinco, aliadas à facilidade de instalação e manutenção, fazem desta solução uma escolha custo-efetiva para a Moldetipo Group.

A implementação bem-sucedida do sistema de codificação na Moldetipo Group demonstra que uma abordagem sistemática e padronizada na gestão de ativos não facilita apenas o acompanhamento e a manutenção dos equipamentos, mas também promove a consistência e a eficiência operacional. O manual de codificação serve como um guia abrangente que define claramente os procedimentos para a atribuição de códigos, verificação de dados e manutenção contínua do sistema. Este manual assegura que cada ativo receba um código único e que todas as informações associadas sejam precisas e completas.

A adoção de um sistema de codificação bem estruturado foi fundamental para a melhoria contínua das práticas de gestão de ativos, contribuindo para a eficiência operacional e a sustentabilidade da empresa num mercado cada vez mais competitivo. A implementação de um sistema de codificação representa um avanço significativo para a Moldetipo Group, demonstrando que uma gestão de ativos bem estruturada e padronizada é fundamental para a melhoria contínua e o sucesso a longo prazo da empresa.

Referências

Ahmed, F., Phillips, M., Phillips, S., & Kim, K.-Y. (2020). Comparative Study of Seamless Asset Location and Tracking Technologies. *Procedia Manufacturing*, *51*, 1138–1145. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.160

Anibal, J., & Armas, Q. (2015). NFC la nueva tecnología para la educación Universitaria. *II CONGRESO INTERNACIONAL DE INNOVACIÓN EDUCATIVA- PONENCIA DE INVESTIGACIÓN*. https://www.researchgate.net/publication/291355610

Derakhshan, R., Orlowska, M. E., & Li, X. (2007). RFID Data Management: Challenges and Opportunities. *2007 IEEE International Conference on RFID*, 175–182. https://doi.org/10.1109/RFID.2007.346166

Farinha, J. M. T. (2011). *Manutenção – A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão* (1st ed.). Monitor - Projeto e Edições, Lda.

Farinha, J. T. (2018). *Asset Maintenance Engineering Methodologies* (1st ed.). CRC Press.

Finžgar, L., & Trebar, M. (2011). Use of NFC and QR code Identification in an Electronic Ticket System for Public Transport. *SoftCOM 2011, 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 1–6.

Lemos, C., Pereira, M. T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2018). A codification system roadmap: case study in a metalworking company. *Procedia Manufacturing*, *17*, 688–695.

Li, X., & Xia, X. (2023). A System of Data Assets Registration and Catalog Management. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB*, *2023-June*. https://doi.org/10.1109/BMSB58369.2023.10211143

Posada, J. L., & Caballero, D. E. (2014). *Item unique identification capability expansion: established process analysis, cost benefit analysis, and optimal marking procedures* [MBA Professional Report]. Naval Postgraduate School.

Qi, X., Liu, Y., Zhang, Y., Cao, S., Zhu, W., & Tang, J. (2020). Research on BIM Model Identification System for Substation Project Management. *Journal of Physics: Conference Series*, *1486*(4). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1486/4/042026

Rakshit, S., & Sridhar, S. S. (2018). Asset Management Security System Using RFID Technology. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*, 391–393. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.160

Saraubon, K., Chinakul, P., & Chanpen, R. (2019). Asset Management System using NFC and IoT Technologies. *ACM International Conference Proceeding Series*, 124–128. https://doi.org/10.1145/3374549.3374558

Vieira, A. (2003). *Organização e Gestão da Manutenção das Instalações e dos Equipamentos Fixos do DEEC/FCTUC*.

Wang, Z., Pei, H., Zhang, X., Wang, C., Chen, X., & Zhou, T. (2021). Application of KKS Coding and QR Code Technology in Transmission Asset Management. *2021 IEEE 2nd China International Youth Conference on Electrical Engineering, CIYCEE 2021*. https://doi.org/10.1109/CIYCEE53554.2021.9676758

Wei Chunming, Zhang Zichan, & Zhao Xinghai. (2010). *Engineering Application of Labeling System in Power Plant* (Wang Guoxu, Ed.). IEEE.

ID10
Melhoria contínua no departamento de logística de uma empresa de injeção de plástico

Sónia José ([1]), José Luís Martinho ([1,2])
soniaj585@gmail.com, martinho@isec.pt

([1]) Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
([2]) RCM2+, Research Centre for Asset Management and Systems Engineering

Resumo

A logística é essencial para a eficiência operacional, satisfação do cliente, competitividade e sustentabilidade de qualquer empresa. A filosofia Lean, centrada na eliminação de desperdícios para maximizar o valor para o cliente, promove uma cultura de excelência e de melhoria contínua. A integração dos conceitos Lean e Kaizen na logística é, pois, fundamental para a elevação de níveis de desempenho.
O presente artigo retrata um conjunto de atividades desenvolvidas no departamento de logística de uma empresa de injeção de plástico, inseridas num projeto de melhoria contínua com o objetivo de eliminar desperdícios e aumentar a sua eficiência operacional.
O primeiro projeto consiste na digitalização de alguns processos logísticos no chão de fábrica, visando resolver a questão dos fluxos em papel, confusos, repetitivos e desprovidos de procedimentos bem definidos. Através da introdução de *tablets* e da normalização de procedimentos, foi possível digitalizar os processos e eliminar todas as operações em papel, resultando na diminuição de custos operacionais, aumento da qualidade, produtividade e competitividade sustentável.
Com o intuito de otimizar o transporte repetitivo de cargas entre produção e armazéns, efetuado com empilhadores convencionais, efetuou-se igualmente o estudo da implementação de um sistema de Robots Móveis Autónomos, com o qual se espera diminuir os custos de mão de obra e aumentar a produtividade, flexibilidade e segurança *indoor*.
A concretização destes projetos permitiu destacar a empresa no mercado em que se encontra inserida, mostrando a importância das filosofias Lean e Kaizen na melhoria do desempenho do setor da logística e da competitividade da empresa.

Palavras-Chave: Lean, Melhoria Contínua, Desperdícios, Digitalização, Logística, AMR

1. Introdução

A Logística Lean, baseada nos princípios do Sistema Toyota de Produção (TPS), concentra-se na eliminação de desperdícios e na otimização de processos, visando uma gestão mais eficiente da cadeia de abastecimento. Ao adotar esta abordagem, as empresas procuram reduzir custos, aumentar a satisfação do cliente e melhorar a sua competitividade no mercado. Paralelamente, a digitalização de processos constitui uma estratégia fundamental para aumentar a eficiência e a sustentabilidade das empresas aumentado a satisfação dos seus clientes. A eliminação de papel e a implementação de soluções digitais permitem uma gestão mais eficiente e precisa das operações logísticas, facilitando o acesso a dados em tempo real, promovendo a segurança, reduzindo os custos com papel e mão de obra e contribuindo para a preservação do meio ambiente.
Depois de um enquadramento teórico sobre o conceito Lean aplicado à Logística, neste artigo são apresentados dois projetos desenvolvidos numa empresa de injeção de plástico para o setor automóvel, que estão diretamente relacionados com a aplicação do Lean na Logística. O primeiro projeto retrata a digitalização e eliminação de papel dos processos de preparação de cargas na secção de expedição. O segundo projeto consiste num estudo de viabilidade para a implementação de um sistema de Robots Móveis Autónomos (AMR), capaz de automatizar o transporte de paletes entre armazéns e a produção sem necessidade de intervenção humana direta.
Neste contexto, a aplicação da cultura Lean na Logística, através da digitalização de processos manuais e da inovação tecnológica pela implementação de AMR, não só pode otimizar todos os processos logísticos, mas também oferecer à empresa um nível competitivo superior, bem como uma adaptação mais rápida às mudanças do mercado.
Na secção 2, é apresentado um enquadramento teórico sobre a gestão Lean e a implementação do Lean na logística. De seguida, são apresentados dois estudos de caso na secção 3, o Projeto de Digitalização de Processos e Eliminação de Papel na Logística e o Projeto de Estudo da Implementação de AMR, nas subsecções 3.1 e 3.2,

respetivamente. Por fim, surge uma conclusão, onde se analisam os principais resultados obtidos e as implicações futuras para a gestão logística.

2. Enquadramento teórico

A gestão Lean é uma abordagem sistemática para identificar e eliminar desperdícios, melhorando continuamente os processos para fazer os produtos fluírem conforme a procura do cliente (Womack e Jones, 2003). Medeiros (2010) define Lean como uma filosofia de gestão que otimiza a organização para atender às necessidades do cliente com alta qualidade, baixo custo e o menor tempo possível, aumentando simultaneamente a segurança e ética dos colaboradores e integrando todas as partes da organização.

O Lean resulta da evolução de metodologias de gestão como o TPS, TQM (Total Quality Management) e JIT (Just-In-Time), incorporando novos conceitos como a cadeia de valor e o serviço ao cliente. Visa maximizar a criação de valor para o cliente e minimizar desperdícios, com o menor uso possível de recursos, tornando as empresas mais competitivas ao reduzir custos, melhorar a qualidade e aumentar a satisfação do cliente (Vo et al., 2019).

No desenvolvimento do TPS e do Lean, foram identificadas sete formas de desperdícios globais nas organizações. Esses desperdícios, chamados de "Mudas", consomem tempo e recursos sem criar valor, tornando os produtos ou serviços mais caros e menos competitivos (Pinto, 2009; Womack e Jones, 2003). A verdadeira melhoria na eficiência surge quando são produzidos zero desperdícios, conduzindo a percentagem do trabalho para os 100%. Os desperdícios mais frequentes que estão presentes nos processos de produção, e que deverão ser eliminados, incluem nomeadamente o excesso de produção, espera, transporte, sobre-processamento, inventário, movimentação e defeitos.

O valor de um produto ou serviço é determinado pelo que o cliente considera essencial e útil e pelo quanto este está disposto a pagar por isso. Portanto, é o cliente quem define o que deve ser produzido, e não a empresa. Baseando-se na satisfação do cliente, o Lean adota cinco princípios fundamentais:

- **Especificar o valor:** o valor é definido pelas necessidades do cliente e deve ser entregue num preço e prazo específicos. Características que não atendem às expectativas do cliente são oportunidades de melhoria;
- **Identificar a cadeia de valor:** examinar todas as etapas do processo, desde o fornecedor até o cliente, para distinguir atividades que agregam valor das que são desperdícios;
- **Criar um fluxo contínuo:** as etapas que agregam valor devem fluir sem interrupções para minimizar desperdícios e conectar pessoas e processos;
- **Estabelecer uma produção "pull":** a produção deve ser guiada pela necessidade do cliente, evitando excesso de stock e produzindo apenas o necessário;
- **Procura da perfeição:** procura contínua da perfeição e a eliminação de desperdícios, adaptando-se às mudanças nas necessidades dos clientes e promovendo a melhoria contínua (adaptado do Lean *Enterprise Institute)*.

A implementação do Lean requer a utilização de ferramentas como o VSM, 5S, TPM, Kanban, SMED, Poka-Yoke e células de produção, aplicáveis a empresas de qualquer setor ou dimensão. O sucesso depende não só da aplicação dessas ferramentas, mas também da capacidade das pessoas de resolver problemas e estabelecer uma cultura de melhoria contínua (Pinto, 2009).

A aplicação dos princípios Lean na logística oferece uma oportunidade valiosa para as empresas aumentarem a eficiência, reduzirem custos e melhorarem a qualidade do serviço. Embora a sua implementação possa apresentar desafios, os benefícios a longo prazo justificam os esforços. Através da melhoria contínua e da eliminação de desperdícios, a Logística Lean não só impulsiona a competitividade das empresas, como também contribui para a sustentabilidade global (Liang e Wang, 2013). Ao adotar os princípios Lean na logística, as empresas visam melhorar processos desde a aquisição de matérias-primas até a entrega final ao cliente. O Kaizen, focado na melhoria contínua, promove pequenas mudanças envolvendo todos os colaboradores.

A aplicação dos cinco princípios Lean na logística resulta em diversos benefícios para as empresas, como a redução de custos, aumento de eficiência, melhoria da qualidade, aumento da flexibilidade e melhoria do ambiente de trabalho (Alejandro-Chable at al., 2022). Consegue-se praticar uma cultura Lean na Logística quando se otimiza os níveis de stocks, reduzindo os custos de armazenamento e prevenindo os produtos obsoletos. Para além disso o planeamento da Produção deve ser realizado de acordo com os pedidos do cliente, evitando a sobreprodução e a falta de materiais. Relativamente à gestão de transportes, o objetivo passa por otimizar as rotas de entrega e reduzir os custos de transporte. Finalmente, a organização dos layouts de armazém e a otimização dos tempos de *picking* e *packing,* através de uma informação clara e concisa, permitem melhorar a gestão de armazéns.

A implementação de Lean pode encontrar resistência cultural e organizacional e, portanto, é importante a envolvência de todos os níveis da organização e comunicar claramente os benefícios da mudança. Os custos iniciais de implementação podem ser elevados, incluindo a formação, consultoria e mudanças de processos, mas os benefícios a longo prazo geralmente superam esses custos. A integração do Lean em cadeias logísticas complexas pode ser desafiante, especialmente em empresas com múltiplos fornecedores e clientes dispersos geograficamente, exigindo que a empresa esteja preparada para lidar com essas complexidades e adaptar as práticas Lean conforme necessário.

Resumindo, a aplicação dos princípios Lean na Logística resulta numa abordagem direcionada para a excelência operacional, redução de custos e melhoria contínua ao longo de toda cadeia de abastecimento. Ao eliminar desperdícios e otimizar processos, as empresas não só diminuem os custos operacionais, como também aumentam a eficiência e a eficácia de todas as operações. Além disso, ao envolver os colaboradores nas práticas Lean, cria-se um ambiente de trabalho mais colaborativo e proativo. Esta integração conduz a melhorias significativas na competitividade das empresas e na satisfação dos clientes, resultando num desempenho superior e sustentável para a empresa a longo prazo.

3. Estudo de Caso

3.1. Projeto de Digitalização de Processos e Eliminação de Papel na Logística

3.1.1. Análise da situação Inicial

Foi realizada uma análise dos processos logísticos que ainda utilizavam papel, identificando oportunidades de digitalização. Foram avaliados os consumos de papel e custos associados, constatando-se um impacto significativo na eficiência operacional e no meio ambiente.

A preparação de cargas é uma parte crítica que afeta diretamente a satisfação do cliente, os custos operacionais e a reputação da empresa. Antes deste projeto, não existia na empresa um fluxo procedimental para a preparação de cargas na secção de Expedição, apenas linhas orientadoras que se tornavam complexas de seguir. O processo iniciava-se com a impressão de um e-mail que continha um ficheiro com informações cruciais para a preparação da carga e usado para confirmar quantidades e preparar fisicamente a carga, sendo feitas várias anotações manuais no seu decurso.

Este método resultava em ineficiências operacionais, uma maior suscetibilidade a erros humanos e dificuldades na gestão e partilha de documentos, além de um consumo excessivo de papel e impactos ambientais negativos. Os custos associados ao uso de papel e ao seu armazenamento eram significativos, assim como os riscos de perda de documentos, de segurança e de confidencialidade da organização.

O arquivo físico incluía todos os documentos impressos durante o processo de preparação e expedição das cargas, além dos documentos alfandegários e faturas. O manuseamento e armazenamento de grandes quantidades de papel acarretavam custos elevados e riscos de perda ou danos.

O consumo anual de papel nestes processos estimou-se em cerca de 220 resmas e um custo aproximado de 1 100 euros, acrescido do custo de impressão. A maior parte deste consumo ocorreria na secção da Expedição.
A implementação de um fluxo de preparação de cargas, normalizado e digitalizado, surgiu como uma solução para reduzir o consumo de papel, aumentar a eficiência operacional e minimizar os impactos ambientais. A digitalização é essencial para melhorar o acesso à informação, reduzir custos e aumentar a segurança de dados.

3.1.2. Implementação do Projeto

A fim de alcançar os objetivos do projeto, foi desenvolvido um plano de ações com metas e prazos definidos. O mesmo teve início com o levantamento e análise de todas as operações em papel com o objetivo de eliminar o uso de papel nas Guias de Transporte e nos transportes de *milk run* adotados para transferência de materiais entre as duas Unidades Industriais da empresa em Portugal. Foi criado um fluxograma *standard* (Figura 1), que apresenta as *guidelines* necessárias para os preparadores de cargas, garantindo um processo consistente e bem definido. O mesmo inicia-se com o envio de um e-mail pelo gestor de cliente, seguido pela alocação de peças à localização de expedição e a digitalização das notas necessárias à faturação.

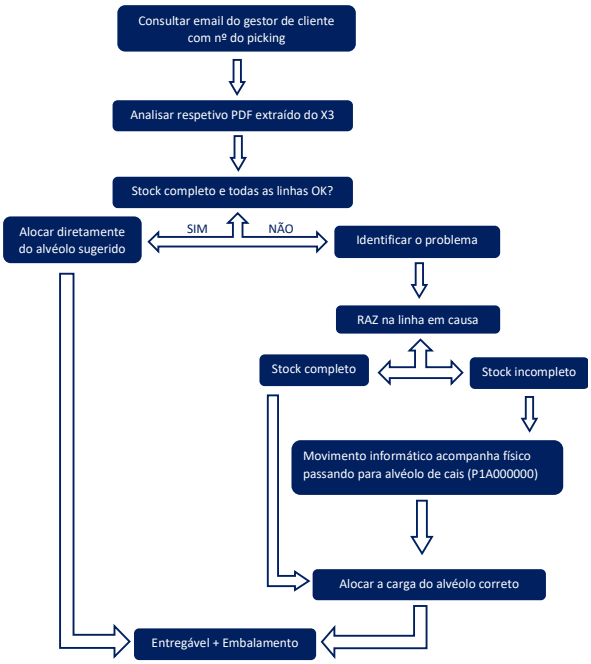


Figura 1: Fluxograma de preparação de cargas

A digitalização de processos foi concretizada pela utilização de tablets e a eliminação de documentos impressos, utilizando as capacidades já existentes do sistema de informação da empresa. Foram adquiridos cinco tablets, instalados em equipamentos de elevação e movimentação de cargas, conforme se pode observar na Figura 2. Estes dispositivos facilitaram a digitalização dos processos logísticos, permitindo um fluxo de trabalho mais eficiente e menos propenso a erros.



Figura 2: Tablets instalados nos meios de carga

3.1.3. Análise de resultados

Após a instalação dos tablets e testes realizados, foi implementado o fluxo de preparação de cargas, que resultou em melhorias significativas na eficiência operacional e na otimização das operações diárias de armazém. O arquivo em papel foi transformado para um formato digital no software de gestão empresarial utilizado pela empresa, facilitando o acesso e a gestão da documentação.

A implementação do projeto desencadeou uma panóplia de vantagens apresentadas de seguida:

- **Aumento da Eficiência Operacional:** as digitalizações dos processos manuais originaram um aumento de produtividade, segundo a filosofia Lean;
- **Redução de Custos:** ocorreu uma redução significativa nos custos operacionais, contribuindo positivamente para a situação financeira da organização;

- **Tempos de preparação de cargas:** os tempos de preparação de cargas foram cronometrados no chão de fábrica (*Gemba),* antes e depois da implementação, comprovando uma melhoria significativa, visível na Tabela 1. Não obstante o ganho não ser igual em todos os clientes, devido ao tipo de carga e de armazenamento no Armazém de Produto Acabado (APA), em média a otimização é de cerca de 25%;
- **Sustentabilidade:** a empresa transmite um compromisso claro com a sustentabilidade, contribuindo para a neutralidade carbónica e preservação do meio ambiente;
- **Facilidade de acesso à documentação:** a gestão e armazenamento de documentos tornou-se mais organizada e segura, garantindo a integridade e disponibilidade dos dados.

Tabela 1 – Tempo de Preparação de Cargas

CLIENTE	ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO	DEPOIS DA IMPLEMENTAÇÃO	OTIMIZAÇÃO
Cliente A	00:18:00	00:15:00	16,7%
Cliente B	01:15:00	00:40:06	46,5%
Cliente C	01:05:00	00:50:05	23,0%
Cliente D	01:02:00	00:55:00	11,3%
Cliente E	00:23:23	00:20:00	14,5%
Total	04:03:23	03:00:11	25,9%

Comparou-se ainda o impacto no arquivo em papel, antes e depois da implementação do projeto (Figura 3), durante um período de trinta dias, o que permitiu perceber que todos os documentos impressos passaram a ser digitalizados, exceto os documentos relativos à Convenção Relativa ao Contrato de Transporte Internacional de Mercadorias por Estrada (CMR) uma vez que se trata de um documento jurídico composto por quatro cópias de papel carbono cada uma com uma função específica e é destinada a uma das partes envolvidas no processo de transporte, garantindo que todos tenham uma cópia com os termos acordados (expedidor, destinatário, transportador e autoridade aduaneira).



Figura 3: Comparação do Arquivo em papel antes e depois da digitalização

O investimento total do projeto rondou os 2 460 euros, incluindo meios tecnológicos, acessórios e suportes de fixação, resultando nas diversas vantagens acima enunciadas.

3.2. Projeto de Estudo da Implementação de AMR - *Autonomous Mobile Robot*

Atualmente, na empresa existem vários fluxos entre a produção e o armazém que são geridos por empilhadores tradicionais e porta-paletes manuais. O objetivo deste projeto é implementar um *Autonomous Mobile Robot* (AMR) capaz de transportar paletes entre o armazém e a produção. Os benefícios esperados desta implementação incluem o aumento da eficiência, a redução de custos e a melhoria da segurança dos fluxos logísticos.
Os *robots* autónomos otimizam os fluxos de trabalho, reduzindo tempos de espera e congestionamentos, o que eleva a produtividade e diminui os custos operacionais. A segurança também é reforçada, reduzindo o risco de acidentes com empilhadores.
O AMR adapta-se rapidamente a mudanças no *layout* operacional sem interrupções significativas. Permite ainda o acompanhamento em tempo real das operações e a análise de dados, facilitando a monitorização e controlo de todos os fluxos logísticos.
Em suma, a implementação do AMR pode aumentar a eficiência, reduzir custos e melhorar a segurança e a gestão das operações logísticas. Para alcançar estes objetivos, foi realizado um estudo de mercado para identificar o tipo de equipamento mais adequado às necessidades da empresa, cuja apresentação não faz parte dos objetivos deste artigo, bem como um estudo da sua implementação, que se descrevem nas secções seguintes.

3.2.1 Análise da situação inicial

Realizou-se inicialmente uma análise detalhada dos fluxos logísticos internos vigentes para o produto com maior volume anual na empresa, utilizando o *Spaghetti Diagram* como ferramenta visual para mapear movimentos repetitivos e identificar ineficiências.
As operações envolvidas traduzem-se em dois fluxos principais: o Fluxo 1 para paletes de PI (Produto Intermédio) e o Fluxo 2 para paletes de PA (Produto Acabado), representados na Figura 4 e a seguir explicados.

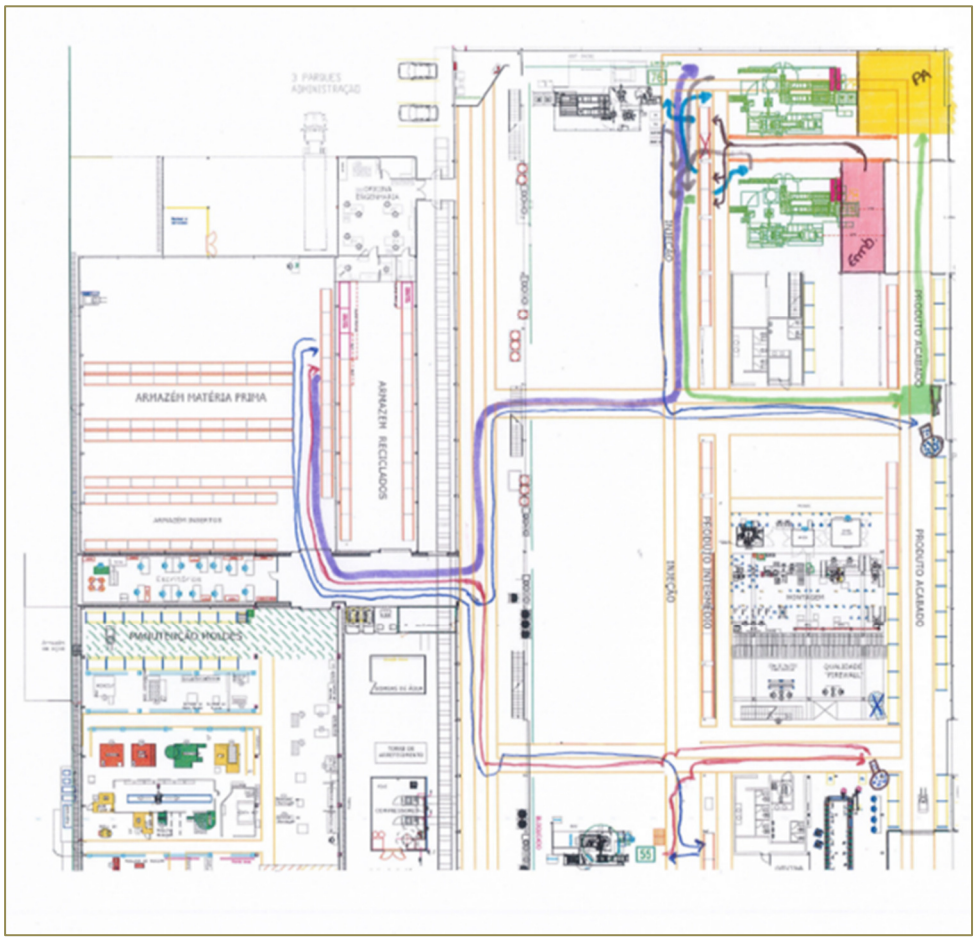


Figura 4: Spaghetti Diagram da situação inicial

Legenda:
Retângulo Amarelo → Armazém de Produto Acabado (APA)
Retângulo Rosa → Armazém de Embalagem 2 (Emb2)
Retângulo Verde alface → Paletização

Fluxo 1 (PI):

- **Fase Azul1:** paletes de PI vazias são transportadas do AEmb1 (Armazém de Embalagem 1), situado no Armazém de Matéria-Prima (AMP), para a zona de abastecimento da Máquina de injeção de PI (Máq. Inj. PI);
- **Fase Vermelha:** paletes de PI cheias saem da Máq. Inj. PI e são sujeitas ao processo de paletização. De seguida, são armazenadas no API (Armazém de Produto Intermédio) situado no AMP;
- **Fase Roxa:** paletes de PI cheias são transportadas do API até à zona de abastecimento das 3 linhas de Produção;
- **Fase Azul2:** paletes de PI vazias saem das 3 linhas de Produção, regressam à máquina de paletização e, posteriormente, ao AEmb1.

Fluxo 2 (PA):

- **Fase Preta:** paletes de PA vazias são transportadas do AEmb2 (Armazém de Embalagem 2) até às 3 linhas de Produção;

– **Fase Verde:** paletes de PA cheias são sujeitas ao processo de paletização e depois arrumadas no APA (Armazém de Produto Acabado).

Recolheram-se os tempos unitários de cada movimentação e estimou-se o tempo anual de operação, totalizando 2 328 horas. A Tabela 2 ilustra que a movimentação das paletes de PA cheias é a que consome mais tempo anual de mão de obra, seguida das paletes de PA vazias e, por último, das paletes de PI vazias.

Tabela 2 - Análise do tempo de operação atual

FLUXOS	TEMPO UNITÁRIO [MIN]	TEMPO ANUAL DE OPERAÇÃO [H]
Palete PI vazias 1 (Azul1)	2,25	82,82
Palete PI cheias 1 (Vermelha)	2,55	93,72
Palete PI cheias 2 (Roxa)	1,33	49,00
Palete PI vazias 2 (Azul2)	3,80	139,66
Palete PA vazias (Preta)	2,66	609,08
Palete PA cheias (Verde)	5,92	1353,84
Total Cliente	18,52	2 328,12

Todos os tempos anuais de operação foram baseados no volume anual de peças previstas vender pela empresa.

3.2.2 Plano de Implementação do Projeto

De modo a planear a implementação do AMR, foram analisadas as operações que o AMR conseguiria suportar. A Figura 6 representa os percursos previstos a realizar pelo AMR.

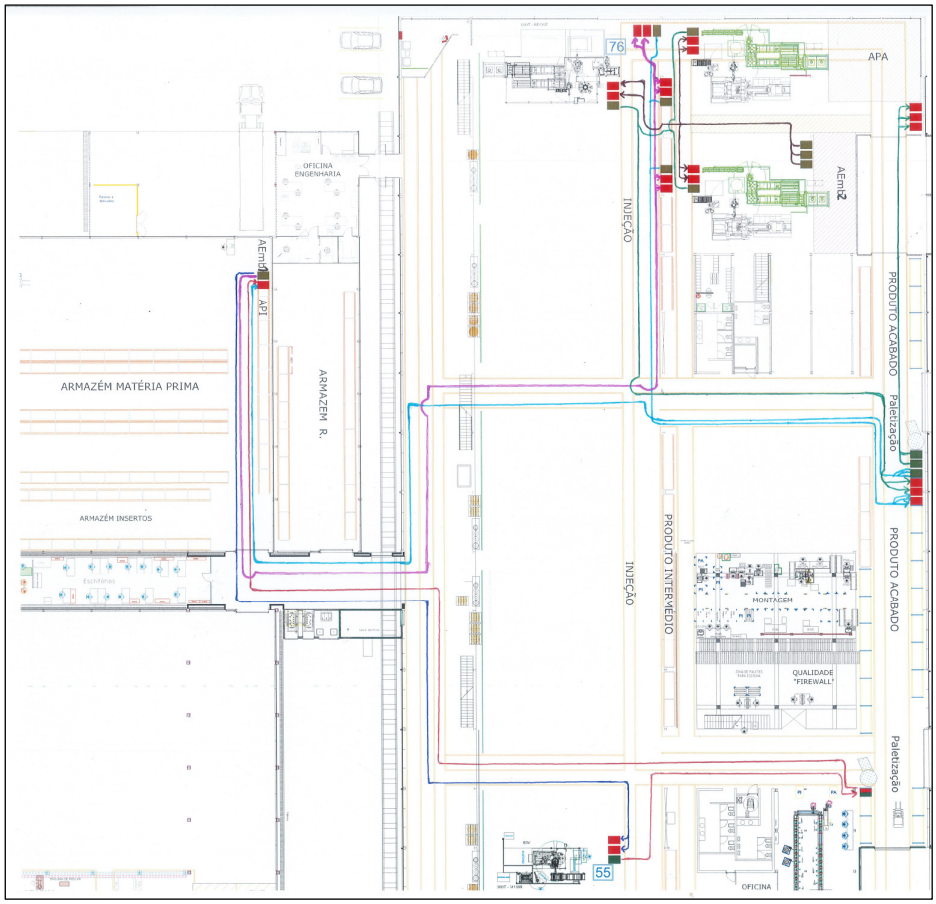


Figura 5: Spaghetti Diagram com os percursos previstos para o AMR

Os postos de carga do AMR estão representados na Figura 5, com retângulos pintados a verde e os postos de descarga com retângulos a vermelho. As Fases representadas no *Spaghetti Diagram* da situação inicial (Figura 4)

são as mesmas da Figura 5, com a diferença que os percursos previstos pelo AMR são diretos às posições de máquina.
A Tabela 3 mostra todas as operações efetuadas pelo AMR para os dois Fluxos, o Fluxo 1 (PI) e o Fluxo 2 (PA), com as estimativas de distância e tempo para cada tarefa.

Tabela 3 – Distância e tempo unitários a realizar pelo AMR

FLUXOS	FASES	TAREFAS	DISTÂNCIA [M]	TEMPO [MIN]
Fluxo 1 (PI)	Fase Azul 1	Carregar palete vazia PI no AEmb1	-	1,00
		Deslocação do AEmb1 até à Máq. Inj. PI	76,00	2,11
		Descarregar palete vazia PI na Máq. Inj. PI	-	1,00
	Fase Vermelha	Carregar palete PI cheia na Máq. Inj PI	-	1,00
		Deslocação da Máq. Inj.PI até à paletização	33,60	0,93
		Descarregar + Carregar palete cheia PI na paletização	-	2,00
		Deslocação da paletização até à API (AMP)	95,08	2,64
		Descarregar palete cheia PI no API	-	1,00
	Fase Roxa	Carregar palete PI cheia no API (AMP)	-	1,00
		Deslocação da API até às linhas de produção	101,95	2,83
		Descarregar palete cheia PI nas linhas de produção	-	1,00
	Fase Azul2	Carregar palete vazia PI nas linhas DNOX	-	1,00
		Deslocação das linhas de produção até à paletização	49,20	1,37
		Descarregar + Carregar palete vazia PI na paletização	-	2,00
		Deslocação da paletização até ao AEmb1 (AMP)	94,75	2,63
		Descarregar palete vazia PI no AEmb1	-	1,00
Fluxo 2 (PA)	Fase Preta	Carregar palete PA vazia no AEmb2	-	1,00
		Deslocação do AEmb2 até às linhas de produção	31,80	0,88
		Descarregar palete PA vazia nas linhas de produção	-	1,00
	Fase Verde	Carregar palete PA cheia na linha de produção	-	1,00
		Deslocação da linha de produção até à paletização	57,20	1,59
		Descarregar + Carregar palete PA cheia na paletização	-	2,00
		Deslocação da paletização até ao APA	33,00	0,92
		Descarregar palete PA cheia no APA	-	1,00

Na Tabela 4, encontram-se os percursos que o AMR terá de fazer num ciclo correspondente a 1 hora, com a laboração de 3 linhas de produção e uma máquina de injeção de PI. Sabe-se que a cadência dos Fluxos 1 e 2 é de, respetivamente, 2,52 horas por palete e 1 hora por palete.

Tabela 4 – Estimativa do tempo de ocupação total do AMR por cada hora

FLUXOS	FASES	CADÊNCIA (HORAS/PALETE)	N.º CICLOS /HORA	TEMPO DE DESLOCAÇÃO POR HORA (MIN)	TEMPO DE CARGA E DESCARGA DE PALETES POR HORA (MIN)	TEMPO TOTAL POR HORA (MIN)
Fluxo 1 (PI)	Fase Azul 1 + Azul2	2,52	0,40	2,42	2,38	4,81
	Fase Vermelha + Roxa			2,54	2,38	4,92
Fluxo 2 (PA)	Fase Preta	1,00	1,00	0,88	2,00	2,88
	Fase Verde			2,51	4,00	6,51
	Total			8,36	10,76	19,12

De acordo com a Tabela 4, tem-se um tempo total de deslocação do AMR de um pouco mais de 8 minutos por hora (14%) e de carga e descarga de paletes de quase 11 minutos (17%). Assumindo, de acordo com as especificações, que a necessidade de carregamento de energia é de 4% do tempo total, pode-se concluir que a ocupação do AMR com fluxos logísticos para este cliente será de cerca de um terço do tempo.

3.2.3 Análise de Investimento

Após análise do estudo técnico efetuado e das propostas apresentadas por diversos fornecedores, foi selecionada a que reuniu as características necessárias. O investimento inicial encontra-se parcelado na Tabela 5.

Tabela 5 – Investimento inicial do projeto AMR

ITEM	INVESTIMENTO [EUROS]
AMR + acessórios	24 500
Integração fornecedor + estrutura	24 500
Integração interna	3 950
Total	52 950

A implementação do AMR permitirá um aumento na eficiência, reduzindo o tempo necessário para a realização de diversas tarefas, para além da otimização da produtividade e libertação da equipa para atividades de maior valor agregado, melhorando assim a qualidade do trabalho e a satisfação dos colaboradores.
O AMR conseguirá eliminar cerca de 70% da mão de obra (MO) anual, ocupada atualmente nos fluxos logísticos (Tabela 2), tendo em conta que as tarefas de retirar e arrumar nos racks de armazenamento não serão realizadas pelo AMR, o que representará uma poupança potencial de cerca de 18 000 euros (Tabela 6).

Tabela 6 – Ganhos anuais de MO com a implementação do AMR

FLUXOS	REDUÇÃO DE MO NA OPERAÇÃO [H]	POUPANÇA [EUROS]
Palete PI vazia 1 (Azul1)	70,57	814
Palete PI cheia 1 (Vermelha)	73,51	848
Palete PI cheia 2 (Roxa)	36,75	424
Palete PI vazia 2 (Azul2)	127,41	1469
Palete PA vazia (Preta)	532,85	6 144
Palete PA cheia (Verde)	754,68	8 702
Total	1 595,77	18 400

Para a análise da viabilidade do investimento, assumiu-se que a fiabilidade dos AMR é idêntica à dos empilhadores, tal como os respetivos gastos de manutenção e consumo de energia. Por esse motivo, será apenas considerada como diferença significativa da operação, as poupanças em salários resultantes da diminuição de MO prevista.

Para avaliar a viabilidade económica do projeto de AMR foram calculados o seu valor atualizado líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e Payback, este último indicador bastante considerado pela empresa na tomada de decisões de investimento. Considerando que os equipamentos têm um tempo de vida útil de 10 anos, que o custo de oportunidade de capital da empresa é de cerca de 12% por ano e a taxa marginal de IRC de 21%, chegou-se a um valor do VAL amplamente positivo (35 mil €), uma TIR claramente superior ao custo de oportunidade de capital (27%) e um Payback de cerca de 4 anos, bem abaixo do tempo de vida útil dos equipamentos e dentro do limiar normalmente aceite pela empresa.

4. Conclusão

O Lean consiste numa abordagem de melhoria contínua que exige dedicação, planeamento e envolvimento por parte de todos os colaboradores, independentemente da sua posição hierárquica na organização, de modo a reduzir custos e aumentar a produtividade e a satisfação do cliente. O caminho para o sucesso passa pela criação de uma cultura de melhoria contínua e na capacidade de adaptação dos colaboradores para identificar e eliminar desperdícios em todos os processos. A aplicação dos conceitos da Gestão Lean à logística parece ser uma abordagem essencial para a elevação dos padrões de eficiência nesta área charneira da atividade de qualquer empresa.

No primeiro projeto em estudo, a adoção de um fluxo procedimental e a digitalização dos processos logísticos resultaram em melhorias substanciais na eficiência, na redução de custos e no impacto ambiental. Estes avanços não apenas fortaleceram a reputação da empresa, mas também aumentaram a sua competitividade no mercado, proporcionando uma vantagem distintiva entre os seus concorrentes.

A implementação de um AMR visa otimizar as operações logísticas *indoor*, automatizando o transporte de paletes entre a produção e armazéns. O objetivo principal é reduzir a dependência de intervenção humana em tarefas repetitivas, eliminando o uso de empilhadores tradicionais, aumentando a eficiência operacional, minimizando erros e melhorando a segurança dos colaboradores. O segundo estudo efetuado permitiu aferir a viabilidade operacional e económica da implementação do AMR nesta empresa, confirmando ser uma solução que elevará a eficiência dos fluxos logísticos internos da empresa.

Referências

Alejandro-Chable, J.D.; Salais-Fierro, T.E.; Saucedo-Martínez, J.A.; Cedillo-Campos, M.G. (2022). A New Lean Logistics Management Model for the Modern Supply Chain. Mobile Networks and Applications. https://doi.org/10.1007/s11036-022-02018-1

Liang, D.; Wang, H. (2013). Study on the development strategy of lean logistics for automobile enterprises under green supply chain environment. Applied Mechanics and Materials, 397-400, pp. 2677–2680, https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.397-400.2677

Medeiros, A. P. (2010). Aplicação de iniciativas Lean no desenvolvimento de produtos na indústria de móveis. Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Tese de Doutoramento.

Pinto, J. (2009). Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras. Lisboa: Lidel (1.ª edição), ISBN: 9789897520327.

Vo, B., Kongar, E., Suárez Barraza, M. F. (2019). Kaizen event approach: a case study in the packaging industry. International Journal of Productivity and Performance Management, 68(7). https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2018-0282

Womack, J.P., Jones, D.T. (2003) Lean Thinking. Free Press, New York, ISBN: 978-0743249270.

ID11
Otimização da movimentação de recursos no Departamento de Produção da Coberfer

Margarida Febra ([1]), Ana Vieira ([1,2,3,4])
margaridarfebra@gmail.com; avieira@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Superior de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering
([3]) CISE—Electromechatronic Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior, Portugal
([4]) Ci2 - Smart Cities Research Center, Polytechnic Institute of Tomar, Portugal

Resumo

Nos dias de hoje, é fundamental para as empresas serem o mais eficientes possível nos seus processos de produção, para assim atingirem uma maior competitividade no mercado que pertencem. Neste contexto, torna-se essencial identificar e reduzir os tempos de produção não efetivos, nas operações das empresas e/ou oficinas, contribuindo para a redução dos desperdícios *Lean*.
O presente artigo aborda o trabalho realizado durante o estágio curricular, na empresa Coberfer - Construções, S.A., localizada no distrito de Leiria, no âmbito da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial (LEGI). Ao longo do trabalho desenvolvido, surgiu a oportunidade de aplicar alguns conhecimentos, com destaque para os Princípios e Ferramentas *Lean*, o Método 5S, *Brainstorming*, Ciclo PDCA e SDCA e análise SWOT.
O principal objetivo do trabalho foi apresentar soluções que permitissem minimizar os desperdícios do Departamento de Produção da Coberfer, para assim aumentar a sua produtividade e, consequentemente, a competitividade da empresa. Este processo envolveu a análise detalhada dos processos de produção, identificação dos principais pontos de desperdício e a análise do *Layout* atual da empresa.
Para alcançar o objetivo foi essencial compreender os processos e o fluxo de trabalho de toda a empresa, incluindo dos restantes departamentos. Assim sendo, o desenvolvimento das propostas de solução apresentadas tiveram em consideração o trabalho desenvolvido e o conhecimento adquirido sobre o funcionamento dos diferentes departamentos da Coberfer, como o de Orçamentação e o de Desenvolvimento.
A versão completa do artigo apresenta o processo adotado para desenvolver e apresentar soluções concretas para otimizar os processos da Coberfer, demonstrando a aplicabilidade de conhecimentos teóricos. Apresenta a análise dos tempos, realçando o valor da aplicação adequada de métodos e ferramentas teóricas na resolução de problemas reais do mundo empresarial.

Palavras-Chave: Gestão de Produção; Análise de Tempos; Lean; Layout; SWOT.

1. Introdução

As empresas do ramo da construção desempenham um papel vital na economia. Este setor representa cerca de 9% do Produto Interno Bruto (PIB) da União Europeia e contém cerca de 18 milhões de trabalhadores (dados da UE, em 2022). Para além disso, são as construções que fornecem habitação a cerca de 500 milhões de habitantes europeus e a 6 mil milhões de pessoas no mundo (ECCS, 2024).
Nos últimos anos, o setor da construção metálica em específico, acompanhou o crescimento do setor onde está incluído, contribuindo também para a criação de riqueza em produção, em vendas e no número de empregos gerados, tanto a nível nacional como a nível internacional (Guerreiro, 2022). “Contribuímos com 2,2% o PIB e para 3.1% das exportações. E podemos contribuir para a sustentabilidade já que o aço é um produto reciclável e, ao contrário de outros, não perde características nesse processo.”, sublinha Luís Figueiredo, diretor-geral da CMM em declarações ao CONSTRUIR (Guerreiro, 2022).
A construção metálica tem desempenhado um papel fundamental na arquitetura e na engenharia civil, tanto em Portugal quanto no resto do mundo. É, portanto, relevante explorar a crescente relevância deste setor na construção civil. Em comparação com os materiais tradicionais, destacam-se a durabilidade do material e a sua sustentabilidade.
Num setor e mercado tão competitivo, é essencial executar uma ótima fase de orçamentação. Uma empresa que domine eficientemente o processo de orçamentação é capaz de oferecer propostas competitivas aos seus clientes, garantindo ao mesmo tempo uma margem de lucro adequada para sustentar suas operações e investimentos em inovação e crescimento. Assim, realizar uma orçamentação precisa é fundamental para o sucesso de uma empresa na indústria da construção metálica.

Para além da fase de orçamentação, ter uma fase de planeamento e projeto adequados, utilizando softwares de desenvolvimento, são fases essenciais na indústria da construção metálica. Estas fases permitem às empresas alcançar níveis mais elevados de eficiência e de competitividade num mercado que continua em evolução (Mello et al., 2017).
A filosofia *Lean Thinking* ("Pensamento Magro") ganhou uma enorme reputação mundial e é aplicada em todas as áreas de atividade económica. É conhecida por ser uma filosofia de liderança e gestão que tem como objetivo eliminar desperdícios e criar valor (Pinto, 2009). Trata-se de uma filosofia que oferece uma forma de fazer mais com menos, ou seja, com menos esforço, menos equipamento, menos tempo e até menos espaço, enquanto se produzem produtos que os clientes realmente desejam, na quantidade certa e no momento adequado.
As sete formas mais comuns de desperdício foram identificadas por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo durante o desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção (TPS). Esta filosofia visa produzir bens de acordo com a procura real, utilizando a menor quantidade possível de recursos. Para tal acontecer é crucial eliminar todas as atividades que não agregam valor ao produto, ou seja, aquelas que aumentam os custos. Sendo os sete tipos de desperdício (Pinto, 2009):

- Excesso de produção;
- Esperas;
- Transporte e movimentações;
- Desperdício do próprio processo;
- Stocks;
- Defeitos;
- Trabalho desnecessário.

Posteriormente, foram identificadas mais duas fontes muito comuns de desperdício:

- Não aproveitamento das sugestões dos colaboradores (Chahal, 2017).
- Melhorias desperdiçadas (Bengtsson & Osterman, 2014).

A identificação e otimização do tempo despendido em movimentações de materiais e trabalhadores constituem um aspeto crucial para a maximização da eficiência e produtividade em diversos ambientes. A minimização do tempo gasto em movimentações de materiais e trabalhadores possibilita uma melhor gestão do tempo disponível. Ao diminuir os intervalos de tempo destinados a essas atividades, mais recursos podem ser alocados às tarefas de produção efetiva (De Barros et al., 2012).
Além da melhoria da eficiência operacional, a redução dos tempos de movimentação também está diretamente relacionada com a redução de custos. As movimentações excessivas de materiais e trabalhadores implicam um desperdício de recursos preciosos, como tempo e mão de obra. Esse desperdício pode acarretar em custos adicionais significativos para a empresa. Ao minimizar as movimentações desnecessárias, é possível otimizar a utilização dos recursos disponíveis e, consequentemente, reduzir os custos operacionais (Mello et al., 2017).
A otimização dos tempos de movimentação contribui ainda para aumentar a competitividade da empresa no mercado. Uma oficina capaz de produzir mais em menos tempo tem uma vantagem competitiva significativa, pois pode oferecer prazos de entrega mais curtos e preços mais atrativos aos seus clientes. Além disso, uma maior eficiência operacional permite à empresa reagir de forma mais ágil às flutuações da procura e às mudanças nas condições do mercado, garantindo assim uma posição sólida e sustentável no setor em que está colocada.
A medição da capacidade ajuda a identificar o grau de produção efetiva em comparação com a produção não efetiva. A forma como a capacidade produtiva é medida e descrita influencia as decisões de gestão, bem como o desempenho económico da empresa (Staudt et al., 2011). A partir desta medição é possível evidenciar a necessidade de otimizar os tempos despendidos em movimentações de materiais e trabalhadores.

Podemos descrever o *layout* como a organização dos elementos dentro de um espaço específico. Embora normalmente seja associado às instalações industriais, o conceito é igualmente aplicável a outras configurações, como escritórios, armazéns ou estabelecimentos comerciais. Um *layout* ideal é aquele que minimiza a distância total percorrida, com a movimentação eficiente dos materiais e dos funcionários, com a maior flexibilidade possível e os menores custos de armazenamento.
O conceito de melhoria contínua, em japonês *Kaizen* - "boa mudança", é uma das formas mais eficazes para melhorar o desempenho e a qualidade nas organizações. Encoraja a proatividade das pessoas de forma a resolver problemas e desafios. Este processo não é algo rápido, as melhorias não vão aparecendo de um dia para o outro, é algo gradual dando tempo a todos para se ajustarem e aprenderem (Leming-Lee et al., 2019).
O *Brainstorming* é uma técnica que visa gerar um vasto leque de ideias num curto período de tempo, ajuda os participantes a ultrapassar as suas barreiras criativas e inovadoras. Normalmente, envolve a participação de várias pessoas que se juntam para partilhar ideias e abordar desafios de forma mais criativa. Reconhecido como uma abordagem eficaz, o *Brainstorming* promove a geração rápida de ideias e estimulando a criatividade.
A Análise SWOT (*Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities*, *and Threats*) é um instrumento de análise que pode ser associado a uma oficina de planeamento, de avaliação e reflexão de capacitação ou mesmo de consultoria.

Para isso, elaboram-se estratégias de forma a obter o melhor desempenho organizacional possível, sendo que na análise interna são identificadas as forças e fraquezas relacionadas com pontos específicos da entidade (recursos financeiros, recursos humanos, *know-how*), que colocam a organização em vantagem perante a concorrência (Kotler & Keller, 2012).

2. Análise da Empresa em estudo

A Coberfer - Construções, S.A. é uma empresa de construção metálica localizada no distrito de Leiria que se dedica à execução de estruturas, coberturas e revestimentos metálicos de complexidade média e elevada.
A Coberfer distingue-se pelo padrão de excelência manifestado na conceção de todos os seus projetos. A reputação conseguida ao longo dos anos faz com que seja reconhecida tanto no mercado nacional, como no internacional, sendo a empresa vista como uma referência no setor da construção. Num contexto de crescente exigência e competitividade, a empresa é reconhecida por clientes públicos e privados como uma entidade de confiança.
A empresa desenvolveu a sua equipa com o objetivo de realizar um acompanhamento abrangente das obras. Progressivamente, a empresa aperfeiçoou a estrutura e competências, até ao estado atual em que desenvolve projetos de raiz e oferece soluções completas e prontas a utilizar.

Nos últimos anos, a Coberfer tem atingido patamares muito superiores, sendo agora considerada uma PME de Excelência segundo o IAPMEI. Nos últimos anos, a Coberfer tem se destacado em diversos *rankings* criados pela revista do Jornal de Leiria.
Todo o êxito alcançado pela Coberfer resulta da aplicação de princípios éticos e elevado profissionalismo em todas as suas operações. O seu corpo técnico é constituído por profissionais altamente qualificados, aptos a satisfazer integralmente as necessidades dos clientes. A equipa da Coberfer - Construções, S.A. conta atualmente com um total de 76 colaboradores, fundamentais para sustentar o padrão de excelência que tem sido mantido ao longo do tempo.

Ao longo dos anos, a Coberfer aprimorou o seu portfólio, sendo que algumas obras merecem destaque como a participação na construção da Ana Aeroportos em 2008 ou o Estádio do Marítimo, no Funchal - Ilha da Madeira. Nos mais recentes anos, é de destacar as diversas construções para nomes conhecidos da indústria como a IMMO-MOSQUETEIROS PORTUGAL, S.A. ou até a SECIL Portugal. Mesmo estando bastante presente no território nacional, a Coberfer - Construções, S.A. também têm vindo a construir em território internacional, incluindo em países como Itália, França, Gana ou Venezuela.
Para se compreender o processo produtivo da empresa, descreve-se de seguida o fluxo típico para resposta a solicitações de clientes. Com a chegada de um cliente, é realizada uma triagem inicial para determinar se o interesse reside na aquisição de materiais específicos ou se o objetivo é apresentar uma proposta para uma futura obra. Se o cliente estiver interessado apenas na compra de materiais, é encaminhado diretamente para o estaleiro de venda ao público, onde será prontamente atendido pelo colaborador responsável. Caso o cliente tenha uma proposta de obra, esta é remetida ao Departamento de Orçamentação e Pré-Orçamentação. O cliente pode apresentar desenhos detalhados ou descrever a sua ideia, beneficiando do apoio de arquitetos da Coberfer, que estão disponíveis para desenvolver soluções e propostas de desenhos personalizados.
Após a aceitação do orçamento, o Departamento de Desenvolvimento assume a responsabilidade de preparar e elaborar os desenhos detalhados da obra. Cada componente desenhado é então encaminhado para o Departamento de Produção.

O Departamento de Compras verifica os materiais necessários, determinando quais precisam ser adquiridos junto aos fornecedores e quais estão disponíveis em stock. Simultaneamente, o Departamento de Logística planeia os recursos humanos e materiais necessários para a execução da obra.
Todos os produtos acabados pelo Departamento de Produção, juntamente com os demais materiais necessários, são organizados e etiquetados conforme o número da obra. Estes são então carregados em camiões, prontos para o transporte, como ilustrado na Figura 1.
Na fase final, os materiais são transportados para o local da obra. A equipa de montagem, em colaboração com os responsáveis pela Segurança e Higiene no Trabalho, asseguram que a obra é concluída com sucesso e em conformidade com os desejos do cliente.



Figura 1 - Produto Acabado pronto para seguir para obra

2.1. Processo de Orçamentação

O Departamento de Orçamentação constitui um dos pilares fundamentais da Coberfer, sendo o ponto de partida na conceção de qualquer obra. De forma resumida, o Departamento de Orçamentação faz pré-orçamentação de obras, projeto de arquitetura e respetivas medições que, depois de aceites pelos clientes, passam por retificação durante a elaboração do orçamento final.
A elaboração do orçamento final também pode ser realizada para projetos finais entregues pelos próprios clientes. Em ambos os casos, o orçamento final assenta no plano e desenhos de obra, tendo como principal objetivo apresentar um preço final que será sujeito à aceitação do cliente. Este processo tem uma enorme importância tanto para a Coberfer, como para qualquer empresa do setor da construção.
Foi ainda possível realizar a orçamentação detalhada de duas obras distintas, o que permitiu compreender a complexidade envolvida neste processo.
Com o objetivo de simplificar o processo de orçamentação, os gestores deste departamento desenvolveram uma folha de cálculo em *Excel*. Esta folha inclui a maioria das fórmulas necessárias e ainda alguns preços base. Dessa forma, os engenheiros apenas necessitam de contabilizar os materiais necessários para as obras e inseri-los nesta mesma folha, resultando no Orçamento Final de forma mais rápida e eficiente.

2.2. Processo de Desenvolvimento

O planeamento das obras é executado maioritariamente através de duas aplicações de desenho: o *Tekla Structures* (Figura 2) e o *AutoCAD*. Com o apoio destas ferramentas, a equipa consegue projetar todas as obras com um elevado nível de detalhe. É crucial que os desenhos sejam o mais precisos possível, de modo a evitar dúvidas ou erros durante as fases que se sucedem. Para tal, todas as fases do desenho requerem um alto nível de precisão, sem nunca exceder o valor orçamentado nas fases anteriores.
Com base nos projetos, são elaboradas as Listas de Expedição e as Listas de Material, que devem ser enviadas para o Departamento de Compras para encomenda dos materiais necessários, bem como os detalhes técnicos.
O trabalho dos preparadores é altamente exigente, pois este requer uma concentração extrema ao longo de todo o desenvolvimento. Para além disso, há projetos que consomem imensas semanas de trabalho, e uma simples alteração solicitada pelo cliente ou como resultado de uma distração, pode demorar dias a ser corrigida. Desta forma, torna-se fundamental que todos os detalhes estejam bem definidos desde o início do projeto, para que assim se evite trabalho desnecessário e repetitivo posteriormente, por correções ou erros. Uma boa comunicação sobre as necessidades do cliente desde o início do processo é essencial para garantir a eficiência e o sucesso de todo o projeto. Esta abordagem contribui significativamente para minimizar a ocorrência de erros, otimizando assim os recursos e o tempo dedicado a cada obra.

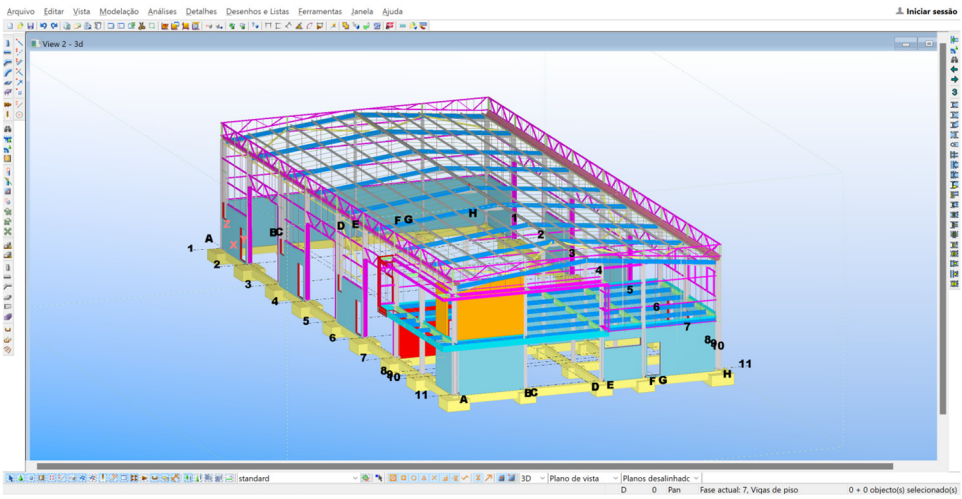


Figura 2 - Projeto no Tekla Structures

2.3. Processo de Produção

O Departamento de Produção é o mais recente na estrutura da Coberfer e a necessidade de melhorias neste departamento é reconhecida pela administração da própria empresa. A Coberfer - Construções, S.A. tem consciência da importância de desenvolver estratégias que permitam aumentar a eficiência e a qualidade da produção, pois estas são fundamentais para o crescimento e o sucesso da empresa no mercado da construção. Por este motivo, estão em análise diversas propostas de melhoria, com vista à otimização dos processos de produção.

3. Análise da situação atual

Atualmente, apenas cerca de 10% dos componentes/materiais processados utilizados na construção de obras da empresa é produzido internamente na Coberfer, sendo o restante adquirido a fornecedores externos. No entanto, uma das prioridades da empresa é evoluir no sentido de aumentar a produção interna, motivo pelo qual a análise deste departamento se torna ainda mais relevante. A empresa opera com duas linhas de produção bastante distintas: a chaparia e a metalomecânica. Na Figura 3 mostram-se imagens ilustrativas das principais áreas da oficina de Produção da Coberfer, enquadradas no seu layout atual. Durante este artigo apenas foram desenvolvidas atividades na segunda linha de produção mencionada.

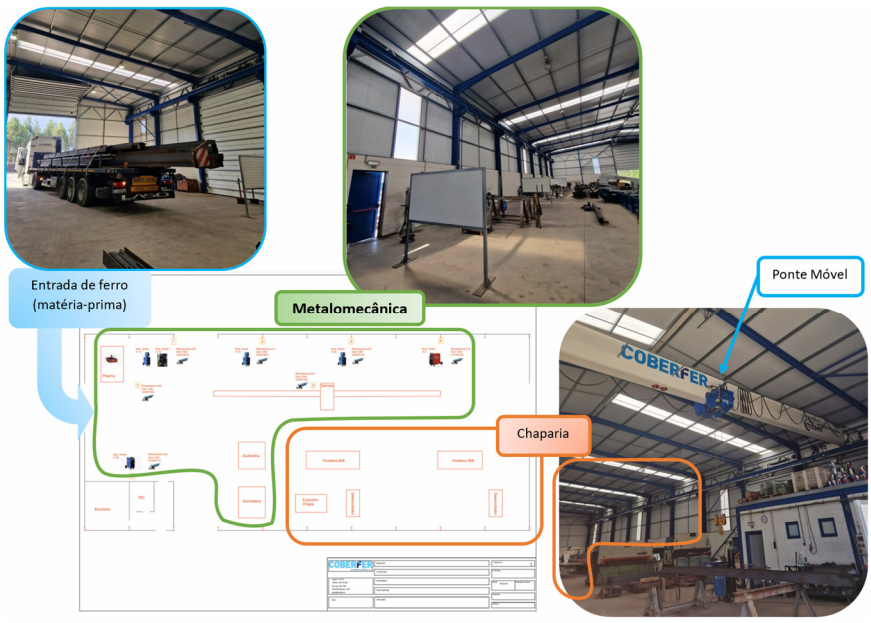


Figura 3 - Oficina de Produção

3.1. Análise de tempos

Com o objetivo de contribuir para o aumento da eficiência da Coberfer, foi realizado no Departamento de Produção um estudo abrangente sobre a análise de tempos, especialmente focado no tempo gasto em movimentações de materiais e trabalhadores.
Este estudo revelou-se de extrema importância para a identificação de desperdícios e estudo de soluções que possam contribuir para a otimização da eficiência e da produtividade na oficina de metalomecânica
Para isso, deu-se início ao estudo, analisando três situações distintas:

- Tempo de movimentação de materiais através da ponte móvel;
- Tempo de movimentação dos funcionários fora do seu posto de trabalho;
- Tempo de movimentação dos funcionários dentro do seu posto de trabalho.

A redução destes tempos é crucial por diversos motivos. Ao minimizar o tempo dedicado a este tipo de movimentações de pessoas e transporte de materiais, é possível aumentar a eficiência operacional, permitindo que mais tempo seja direcionado às tarefas de produção efetiva. Isto resultará numa maior produção por hora, o que é essencial para otimizar a utilização dos recursos da empresa, mantendo a qualidade.
Para além disso, a redução dos tempos de movimentação contribui para a diminuição de custos de produção. as movimentações excessivas podem resultar no desperdício de tempo e outros recursos, fazendo aumentar os custos operacionais. Ao minimizar as movimentações desnecessárias, a empresa pode economizar significativamente em mão de obra e outros recursos.
O estudo envolveu a observação das atividades diárias dos seis operários afetos ao Departamento de Produção, tendo sido realizadas, para cada um deles, 5 observações com a duração de 30 minutos cada. Ou seja, para cada tipo de movimentação estudada, foram realizadas cinco observações a cada um dos funcionários, o que resultou em 90 registos, após a fase de tratamento de dados. Todos os dados, recolhidos e tratados, foram registados numa folha de cálculo *Excel*, onde também foram efetuados os restantes cálculos necessários, como é possível observar na Figura 4.
Após uma profunda análise aos tempos referidos anteriormente, foram obtidos os valores médios, por referência às 8h de trabalho diário, representados na Figura 5.

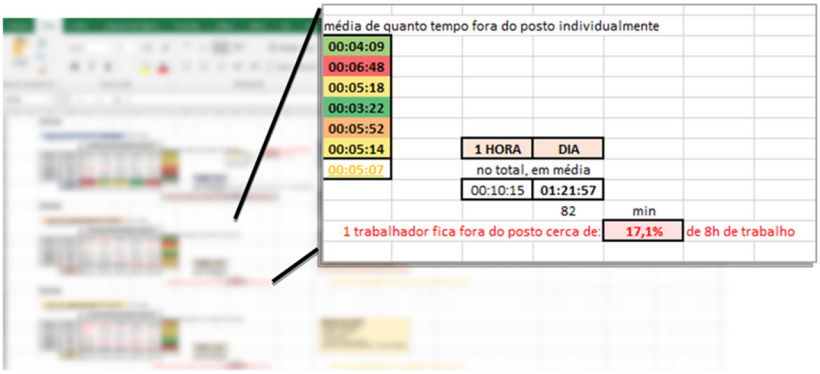


Figura 4 - Folha de cálculo utilizada

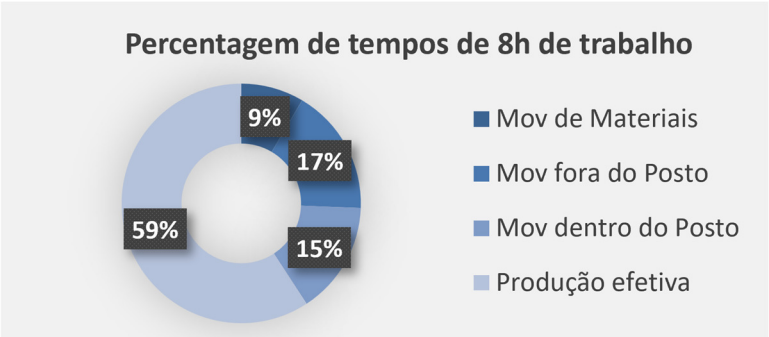


Figura 5 - Percentagem de tempos de trabalho

Através dos cálculos descritos anteriormente, concluímos que, em média, cerca de 40,6% (≈41%) das horas de trabalho de cada funcionário são utilizadas em movimentações, pelo que importa confirmar se as mesmas podem ou não ser evitadas.
Os resultados apresentados anteriormente destacam a necessidade de implementar medidas para reduzir estes tempos de movimentação, com vista a aumentar a eficiência e, por consequência, a produtividade global da empresa.

4. Propostas de melhoria

As propostas de melhoria avaliadas visam não apenas reduzir os tempos de movimentação, mas também promover uma cultura de melhoria contínua na empresa, incentivando a eficiência e a produtividade em todas as etapas do processo de produção. Isso envolve a adoção de metodologias *Lean* e de Melhoria Contínua como o Método 5S ou os Ciclos PDCA e SDCA, com o objetivo de promover a organização e a eficiência no ambiente de trabalho.

4.1. Melhoria dos tempos de movimentação

Com o intuito de reduzir os tempos desperdiçados e aumentar a eficiência operacional, foram elaboradas as seguintes propostas:

- Para reduzir o tempo de movimentação de materiais em processamento, sugere-se uma melhoria no *layout* atual da oficina. Isso inclui uma análise detalhada da disposição dos materiais antes de serem utilizados, visando minimizar a necessidade de deslocações para recolher matéria prima e para movimentar subprodutos durante o processo produtivo.
- Quanto ao tempo de movimentação dos colaboradores fora do seu posto, propõe-se uma reorganização do espaço interior e exterior do pavilhão. Para além disso, foram identificadas onde existiam deslocações mais frequentemente. Estas eram principalmente deslocações até à ponte móvel, deslocações dentro e fora do pavilhão para buscar material e deslocações até ao diretor de produção para tirar dúvidas. Todos esses casos podem ser reduzidos através de um *layout* mais eficiente.
- Já para o tempo de movimentação dos funcionários dentro do seu posto, sugere-se a implementação de metodologias como o 5S ou o SMED, que pode ser aplicado para reduzir o tempo de troca de ferramentas e máquinas, contribuindo para uma produção mais ágil e eficiente.

4.2 Alteração do *layout* atual

Após análise da disposição atual dos Postos de Trabalho e das máquinas presentes na oficina (de acordo com o layout da Figura 3), foram identificadas algumas situações a merecer atenção. Entre estas refere-se, pela sua evidente importância:

- Número significativo de deslocações entre os Postos de Trabalho 4 e 6, onde se executam tarefas de soldadura. Os colaboradores que ocupam estes dois postos frequentemente trabalham na mesma peça ou em peças similares, e sistematicamente recorrem um ao outro para entreajuda;
- Distância considerável entre os postos de trabalho o que dificulta o acesso mais rápido à ponte móvel;
- Passagens obstruídas;
- Mesa do diretor de produção distante dos postos de trabalho.

Para além das situações mencionados, no layout atual existem diversos elementos (como postos de trabalho e equipamentos) que deveriam estar representados e não estão, elementos como mesas de apoio dos funcionários, mesa do diretor de produção, áreas de arrumação, um serrote de menores dimensões e três máquinas (uma prensa, um engenho de furar e uma punçonadora).
Para o desenvolvimento das propostas de melhoria, recorreu-se ao processo de Brainstorming com o objetivo de criar novas configurações para a oficina que respondesse às necessidades de melhoria na eficiência da Coberfer e, simultaneamente, se ajustasse às necessidades dos operários e do diretor de produção. Assim, foram criadas quatro novas sugestões de layout.
Para avaliar qual é a melhor solução entre as sugestões apresentadas, realizaram-se análises SWOT para cada *layout* sugerido. As análises SWOT facilitaram o processo de tomada de decisão sobre qual o *layout* mais indicado à realidade da Coberfer. Neste artigo apresenta-se a proposta que mereceu mais atenção por parte da administração, uma vez que esta tende a antever melhores resultados (Figura 6). Esta hipótese minimiza os movimentos desnecessários, principalmente entre os Postos de Trabalho, e otimiza o espaço reservado para as máquinas e para as arrumações existentes. Simultaneamente, esta solução reduz situações de sobreposição ou colisão nas rotas entre postos de trabalho.

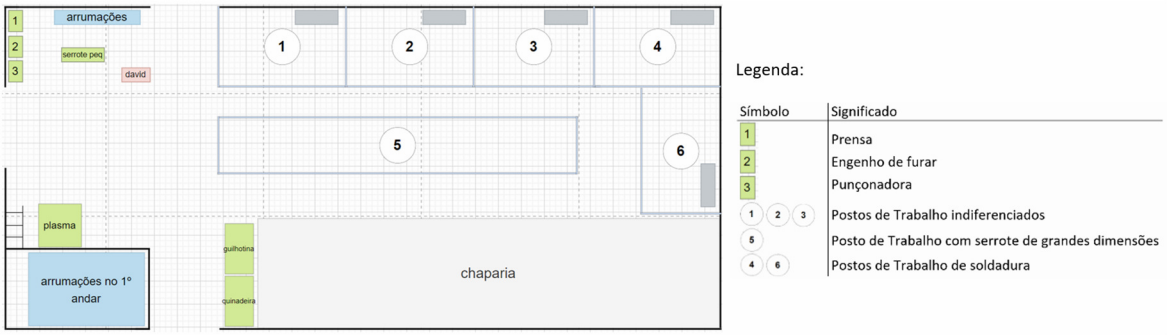


Figura 6 - Proposta de layout escolhida e respetiva legenda

4.2. Outras sugestões de melhoria

Para além das medidas de melhoria propostas para o Departamento de Produção sugeridas anteriormente, perspetiva-se que a Coberfer - Construções, S.A. teria vantagem em implementar um Departamento de Qualidade com ganhos de eficiência transversais a toda a organização. A criação de um novo Departamento de Qualidade é fundamental para garantir a excelência e a consistência na qualidade dos produtos e serviços oferecidos pela empresa.
Na fase inicial de entrada dos produtos, a implementação deste departamento permite realizar uma triagem dos materiais recebidos dos fornecedores. Assim, seria possível identificar eventuais inconformidades, evitando que estas cheguem até à produção ou até aos clientes.
Além disso, a presença de um Departamento de Qualidade na fase de saída dos produtos permite realizar inspeções antes do seu envio para obra. Isto assegura que apenas produtos que correspondam aos padrões de qualidade estabelecidos pela empresa prossigam o seu processo normal, evitando que o material rejeitado seja transportado para obra.
Este departamento poderia ainda realizar análises mais pormenorizadas às obras finais, antes de serem apresentadas aos clientes, analisariam questões de pormenor como a limpeza do local.
De uma forma resumida, a criação de um novo Departamento de Qualidade na Coberfer - Construções, S.A. representa um investimento com o objetivo de garantir a satisfação dos clientes e ainda promover a eficiência operacional e a competitividade da empresa a longo prazo, tanto mais que a mesma planeia investir em processos de certificação pelas normas ISO.
Da análise de tempos efetuada perspetiva-se uma potencial redução de desperdícios em movimentações com a criação de uma divisão do Departamento de Logística dedicado à oficina de Produção. Esta solução poderia contribuir para resolver as perdas de tempo por movimentação de peças em produção e momentos de espera por matérias primas.
Seria importante realizar uma análise *Value Stream Mapping* (VSM) e a aplicação de métodos quantitativos para validação de *layout*, antes da implementação de alterações.

5. Conclusão

A apresentação de propostas de melhoria adequadas depende do conhecimento holístico de toda a organização. Neste contexto, foi essencial compreender e participar em diversas atividades, nomeadamente nos departamentos da Orçamentação, do Desenvolvimento e da Produção, dando especial atenção ao último mencionado, no qual se centraram as principais sugestões de melhoria propostas.
No Departamento de Produção, o conhecimento de conceitos como a identificação do tempo despendido em atividades de movimentação de materiais e tempo útil de utilização de mão-de-obra tornou-se um fator determinante para a criação da proposta de alteração que pode contribuir para a maximização dos resultados e sucesso da empresa.
A analise dos dados recolhidos permitiu identificar possíveis áreas de melhoria, apresentar resultados e ainda equacionar propostas de melhoria submetidas para validação por parte da gestão de topo da empresa, que está a utilizar os resultados como referência para o projeto do novo pavilhão de produção.
A otimização dos tempos de produção é fundamental para a Coberfer melhorar a sua eficiência produtiva. Numa perspetiva de melhoria contínua, devem-se aprofundar as análises realizadas, por exemplo por aplicação de VSM e outros métodos analíticos.

Agradecimentos

Importa agradecer à Coberfer - Construções, S.A. pela oportunidade para realizar o trabalho de campo. Em especial reconhece-se o acolhimento por parte da equipa de produção bem como a disponibilidade e atitude colaborativa de todos os colaboradores.

Referências

Bengtsson, M., & Osterman, C. (2014). *Improvements in Vain - The 9 th Waste*.

Chahal, V. & N. M. (2017). Impact of Lean Strategies on Different Industrial Lean Wastes. *International Journak of Theoretical and Applied Mechanics*, *12*(2).

De Barros, L., Silveira, R., & De Oliveira Salustiano, E. (2012). *A importância da ergonomia nos estudos de tempos e movimentos* (Issue 1).

ECCS. (2024). *European Convention for Constructional Steelwork*. https://www.steelconstruct.com/

Guerreiro, M. (2022). Construção metálica: entre a expansão e as incertezas da conjuntura. *CONSTRUIR*. https://www.construir.pt/2022/05/13/construcao-metalica-entre-a-expansao-e-as-incertezas-da-conjuntura

Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). *Marketing Management* (14th ed.).

Leming-Lee, T., Polancich, S., & Pilon, B. (2019). *The Application of the Toyota Production System LEAN 5S Methodology in the Operating Room Setting* (Vol. 54).

Mello, M. F., Cunha, L. A., Silva, N. J., & Araújo, A. C. (2017). A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para melhoria de processo em indústria metal mecânica – um estudo de caso. In *Exacta* (Vol. 15, Issue 4). https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n4.6898

Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean - A filosofia das organizações* (6th ed.). Lidel.

Staudt, F. H., Coelho, A. S., & Gonçalves, M. B. (2011). Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov. *Production*, *21*(4), 634–644. https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000058

ID12
Aplicação de ferramentas Lean e melhoria contínua em processos de armazenagem no setor da indústria cerâmica

E. Casimiro ([1]), S. Capitão ([1])
eunice.casimiro@gmail.com, capitao@isec.pt

([1]) Instituto Politécnico de Coimbra - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), Coimbra, Portugal.

Resumo

A filosofia *lean thinking*, ao longo da sua existência, tem-se desenvolvido continuamente com base nas práticas e necessidades de organizações e instituições sendo estas a sua referência. Estando estas num ambiente de competitividade constante, existe a necessidade de melhoramentos de processos de modo que estas tenham menos desperdícios. Este artigo tem por base a identificação de desperdícios nas atividades de armazenagem numa empresa da indústria cerâmica, apresentando sugestões de melhorias para os processos da mesma.
É apresentado um conjunto de ferramentas *lean* aplicáveis, indicadas na revisão bibliográficaefetuada. A identificação destas ferramentas permitiu apoiar o emprego da filosofia *lean* na melhoria dos processos de armazenagem da empresa utilizada como caso de estudo.
Fez-se uma análise detalhada dos processos e procedimentos internos da empresa, o que possibilitou a identificação das áreas críticas nas quais ocorrem desperdícios, propondo-se melhorias para os mitigar.
No final é apresentado um conjunto de propostas de melhorias futuras. Das propostas apresentadas, destacam-se a implementação de novos indicadores de desempenho para monitorizar a eficiência dos processos, a alteração do layout do armazém e a atualização de equipamentos, tornando-os mais eficientes. Para os cenários efetuados, quantificam-se os potenciais ganhos, tais como as reduções de tempos de determinadas tarefas, a diminuição dos custos operacionais e o aumento da eficiência e eficácia dos processos. Conclui-se que as propostas apresentadas têm potencial para melhorar alguns dos desperdícios identificados, bem como para continuar a promover um processo de melhoria contínua dentro da organização.

Palavras-Chave: *lean thinking*, kaizen, melhoria contínua, desperdício

1. Introdução

A filosofia do *lean*, desenvolvida por Taiichi Ohno na Toyota Motors Company (Kemp, 2018) transformou-se num modelo adotado a nível mundial pela indústria. Neste modelo de produção dá-se importância à eliminação de desperdícios, reduzindo assim os custos e aumentando a produtividade (Maia, Alves, & Leão, 2014). Por outro lado, o *lean thinking* refere-se a uma filosofia que tem por base a melhoria contínua, na qual se pretende a eliminação de desperdícios e de atividades que não acrescentam qualquer valor para o cliente.

Estando as organizações inseridas num contexto cada vez mais competitivo, as indústrias têm adotado estratégias baseadas na filosofia do *lean thinking* de modo a otimizar as suas operações, eliminando assim os desperdícios existentes. Este estudo aborda a aplicação da filosfia *lean* e *lean thinking* na logística, identificando e reduzindo os desperdícios nas atividades de armazenagem de uma empresa do setor cerâmico. A análise dos processos internos permitiu identificar áreas críticas e propor melhorias para aumentar a eficiência e eficácia, promovendo uma cultura de melhoria contínua. As sugestões de melhoria prendem-se com a reorganização do layout do centro logístico e atualizações de equipamentos e estantes. Com estas medidas pretende-se reduzir os tempos de execução das tarefas melhorando a eficácia nos processos.

2. Contributos da literatura para a análise do caso de estudo

2.1 Origem e conceito de logística

A gestão logística começou por ser utilizada pelas forças armadas. Contudo, a logística empresarial surgiu depois da Segunda Guerra Mundial, na década de 50, uma vez que muitas empresas orientaram o seu foco para os produtos militares. Com o final da guerra, a procura pelos seus produtos militares decaiu e as empresas tiveram de mudar o

seu foco para a criação de bens de consumo e duráveis. Foi o aumento da concorrência entre as organizações que as levou a desenvolver medidas para se diferenciarem das demais.
Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals*, a gestão logística tem como responsabilidade planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo direito bem como inverso, mas também as operações de armazenagem de bens e/ou serviços e toda a informação relacionada entre o ponto de origem e de consumo, por forma a satisfazer as necessidades dos clientes (Carvalho, 2012). Ao longo dos anos, o conceito de logística foi sofrendo alterações devido à sua importância nas organizações. Em 1992 foi adicionado o conceito de "serviço", em 1998 o de "cadeia de abastecimento", em 2002 o de "fluxo inverso" e em 2003 a alteração de "logística" para "gestão logística" (Moura, 2006).

A logística, na ótica do cliente, tem como principais objetivos conseguir o produto certo, para o cliente certo, nas condições certas, no tempo certo, no lugar certo, quantidade certa e ao custo certo (Carvalho, 2012). Já numa ótica de serviço, prende-se com a gestão de fluxos físicos e de informação pela ligação à capacidade instalada pelo sistema, ou seja, a capacidade de fornecer um serviço numa unidade de tempo, remetendo para os clientes na quantidade certa, no tempo certo e no custo certo (com um custo mínimo empresarial) (Carvalho, 2012).

2.2 Logística interna

A logística interna refere-se a atividades logísticas internas à organização, por vezes designada por micrologística (Moura, 2006). Trata-se de uma subárea da logística, na qual se analisam todas as movimentações físicas e as necessárias operações de apoio executadas no armazém, tanto na nave propriamente dita como num entreposto caso exista. Das operações necessárias, indicam-se, a título de exemplo, as seguintes: receção de material (matéria-prima, embalagem, produto acabado, mercadoria, entre outros), abastecimento de linhas de produção e/ou embalagem, armazenagem, consolidação, expedição do produto acabado, etiquetagem, paletização, entre outras. Todas as operações indicadas tornam a logística interna essencial na criação de valor e na maximização de lucros com base na agilização de tarefas (Burganovaa, Grznar, Gregor, & Mozol, 2021).

2.2.1 Atividades logísticas

Várias são as atividades realizadas no âmbito da atividade de um armazém, as quais dependem dos requisitos que o cliente impõe e das especificações de cada produto, bem como do nível de serviço que se pretende oferecer. De acordo com (De Koster & Warffemius, 2005), estas atividades são complexas e estão profundamente ligadas a três fatores: (i) a quantidade de trabalho a ser realizada diariamente, (ii) o número e variedade das referências que são manuseadas, e (iii) a natureza e o número de processos que são indispensáveis para atender tanto à procura como às necessidades dos clientes e fornecedores.

Assim, o processo de armazenagem tem em conta várias fases, desde a entrada das referências até à sua saída do armazém. Considera-se assim que a chegada das referências/produtos ao armazém origine as três etapas seguintes, isto é, a receção, a conferência e a arrumação dos produtos. A chegada de uma encomenda de um cliente desencadeia outras três etapas, o picking, a preparação / consolidação e a expedição da encomenda (Carvalho J. , 2017). As etapas de chegada de produtos envolvem os sete passos seguintes: a programação da receção/chegada dos produtos, a chegada do veículo, a alocação do veículo ao cais de descarga, a descarga física dos produtos, a confirmação e conferência dos produtos, a verificação da paletização e, se necessário, a reconstrução e/ou (re)paletização dos produtos, a definição da localização dos produtos no armazém e o registo dos produtos no sistema informático (stock) (Carvalho J. , 2017).
Para que não existam constrangimentos nos cais de carga, as receções devem ser planeadas atempadamente de modo que sejam analisados possíveis congestionamentos no armazém. Depois de ser feita a descarga dos produtos e/ou mercadoria, é verificada a receção da mesma verificando se as contagens físicas estão de acordo com o informado no documento enviado que acompanha a carga e se os produtos chegaram em adequadas condições. Havendo validação dos produtos na etapa referida, se necessário é feita a (re)paletização dos produtos e a atualização do stock no sistema de informação de modo a que a(s) palete(s) possam ser armazenadas na zona destinada para esse efeito.

Esta operação de arrumação pode ser feita de três formas: com localização fixa, aleatória ou mista. Na localização fixa é atribuída uma zona específica no armazém para cada produto, tendo por base a sua rotação, fluxo de entrada e saída, e volume, entre outros. De acordo com o número de referências existentes, pode haver necessidade de criar códigos de localização para as estantes de armazenagem e para as posições específicas no seu interior, de modo a localizar o produto com rigor. Esta informação deve ficar visível no sistema de informação de modo que seja mais eficiente e eficaz a arrumação dos produtos e a sua procura posteriormente.

A localização aleatória é a arrumação da palete nos espaços vazios no armazém no momento de arrumação. Assim, a mesma referência de produto pode ser colocada em vários corredores, várias estantes, distantes ou não, havendo a necessidade de um cuidado reforçado quanto à localização dos artigos no sistema de informação de modo que seja fácil a verificação do stock. A localização aleatória tem a desvantagem de que há um aumento significativo da distância percorrida no momento do picking, uma vez que a mesma referência pode estar em diversas localizações, podendo algumas ser mais distantes, o que é inconveniente quando uma referência tem um elevado número de rotações de entrada/saída de stock. Contudo, tem a vantagem de levar à ocupação dos espaços vazios à medida que ocorre a receção de produtos. A localização mista é a combinação das localizações fixa e aleatória, sendo o espaço de armazenagem subdividido em áreas onde as referências são alocadas a uma zona tendo por base o critério de localização fixa e arrumadas em qualquer espaço dessa mesma zona, ou seja, com localização aleatória. A Figura 1 ilustra os métodos de arrumação descritos.

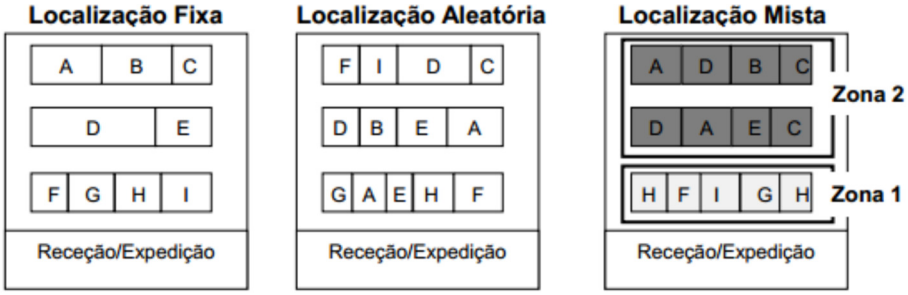


Figura 1 - Métodos de arrumação de materiais (adaptado de (Carvalho J. , 2012))

Relativamente às operações inerentes ao tratamento de uma encomenda, o picking é uma das mais importantes. Esta atividade compreende a recolha de produtos certos e na quantidade certa por forma a satisfazer a encomenda colocada pelo cliente. Esta atividade deve responder de forma adequada a três variáveis: o tempo, o custo e a qualidade (Carvalho J. , 2017). Assim, quanto mais rápido, eficiente e eficaz for o picking, mais rapidamente a encomenda é entregue, com menos custo e mais qualidade para o cliente. São vários os métodos de picking, resumindo-se abaixo a abordagem proposta por (Carvalho J. , 2017):

- Picking by order (por encomenda ou cliente): o operador recolhe todos os produtos da encomenda, deslocando-se às localizaçãoes dos produtos que constam na encomenda, podendo deslocar-se ao mesmo produto mais que uma vez;
- Picking by line (por linha e/ou produto): é delineada uma rota para a recolha dos produtos em armazém, de modo que o operador recolha os produtos nas várias localizações com vista a satisfazer diversas encomendas, minimizando a distância percorrida e, consequentemente, diminuindo o tempo de recolha dos produtos;
- Zone picking: o armazém é dividido por zonas, estando um operador em cada zona a trabalhar numa encomenda de cada vez. Contudo, uma encomenda por estar a ser trabalhada por diversos operadores, uma vez que alguns produtos podem estar em várias zonas, pelo que os produtos da encomenda são consolidados após a sua recolha;
- Batch picking: o operador trabalha em várias encomendas em paralelo, isto é, o operador recolhe a quantidade total para todas as encomendas e posteriormente separa por encomenda e consolida.

A consolidação consiste na colocação dos produtos de cada encomenda na respetiva palete e/ou caixa, sendo posteriormente preparadas para a expedição das mesmas, após confirmação, aplicação de filme plástico, e colocadas no parque de expedição para serem enviadas pelo critério LIFO – last in first out –, ou seja, de acordo com a rota de distribuição, as primeiras paletes a serem colocadas dentro do camião serão as últimas a sair. Já a expedição cinge-se ao envio dos pedidos já consolidados que requer o agendamento das expedições do armazém, o carregamento dos camiões e a alocação dos mesmos aos vários cais de carga (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007).

2.2.2 Sistemas de armazenagem e layout

A construção de um novo armazém e o estudo da sua dimensão é uma tarefa bastante importante, mas também complexa, dado que é importante analisar e prever as atividades da organização num espaço temporal de cerca de 5 anos (Carvalho J. , 2017). Uma vez que um dos pontos diferenciadores da concorrência é a satisfação das

encomendas perante os clientes, pode ser importante a construção de um armazém para constituir stocks, permitindo, assim, a satisfação dos pedidos dos clientes rapidamente, embora aplicando uma gestão de stocks adequada às necessidades. A construção de um armazém deve ser uma decisão ponderada e estudada, quer no que se refere à necessidade quer à dimensão e organização. Devem ser criados espaços destinados a vários produtos que nele possam estar armazenados ou manuseados, uma organização que responda aos fluxos de entradas/saídas dos produtos, de modo a obter um maior aproveitamento do espaço e das áreas desocupadas. São várias as tipologias de armazenagem em função do fluxo de produdos, da temperatura, da duração da permanência em armazém, e do seu grau de automação.
Podem identificar-se vários tipos de armazenagem, os quais dependem também do método de arrumação utilizado. Assim, os modelos de armazenamento podem seguir os seguintes sistemas:

- Sistema em blocos (Figura 2) – os artigos são colocados no chão de forma a formar um bloco. Caso seja possível, pode haver sobreposição de blocos, permitindo maximizar a utilização do espaço de chão (Gleissner & Femerling, 2013). Este tipo de armazenamento não requer investimento em estantes (também conhecidas por racks) na sua implementação, tornando-se mais económico;



Figura 2 - Sistema de armazenagem em blocos (Gleissner & Femerling, 2013)

- Estante para paletes (racks) – o sistema de estante para paletes (Figura 3) é o mais comum nos armazéns, sendo colocada uma palete em cada local e as estantes, ajustáveis em altura, desenhadas de acordo com as necessidades de cada empresa. Com este tipo de armazenagem os artigos estão acessíveis de forma equivalente, utilizando um equipamento de movimentação de cargas. No entanto, nesta opção há um investimento inicial associado ao equipamento (Gleissner & Femerling, 2013).

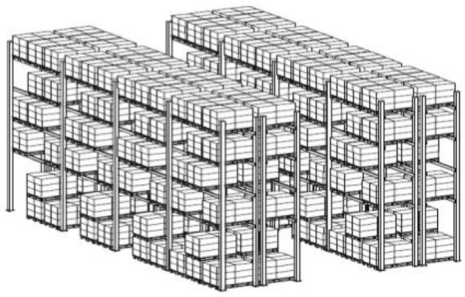


Figura 3 - Sistema de armazenagem em estantes com paletes (Gleissner & Femerling, 2013)

- Drive-in e drive-through (Figura 4) – estas soluções têm por base o sistema LIFO (Last In, First Out) ou FIFO (First in, First out). O drive-in tem por base o LIFO, ou seja, as paletes dão entrada e saída pelo mesmo lado, sendo apenas acedidas por um lado. Já o sistema drive-through tem a possibilidade de ter o sistema FIFO, pois há possibilidade da retirada de paletes no lado oposto. Estas soluções requerem um investimento inicial associado aos rack (Gleissner & Femerling, 2013).

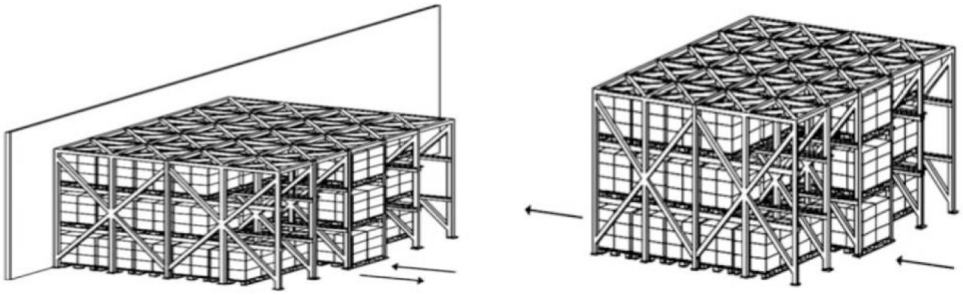


Figura 4 - Sistema de armazenamento drive-in (esquerda) e drive-through (direita) (Gleissner & Femerling, 2013)

- Estante Push-back – tem por base as estantes inclinadas, isto é, a colocação e retirada da palete ocorre sempre pelo mesmo lado. A palete que se encontra mais próxima do local de entrada é empurrada para trás pela que está a ser colocada em estante. Neste armazenamento é usado o sistema LIFO (Gleissner & Femerling, 2013).

- Carrossel vertical ou horizontal (Figura 5) – o carrossel vertical é um sistema que utiliza prateleiras ligadas a correntes cujo movimento se faz de forma cíclica. De modo a evitar voltas completas às prateleiras que consomem tempo, é recomendado que os artigos sejam agrupados por famílias (Gleissner & Femerling, 2013).

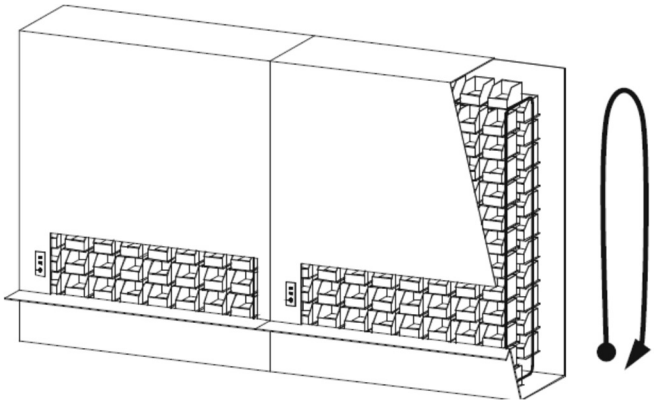


Figura 5 - Sistema de armazenamento carrossel vertical (Gleissner & Femerling, 2013)

- Estantes amovíveis (Figura 6) – este sistema permite que as prateleiras sejam movimentadas manualmente ou com um sistema motorizado , uma vez que estão montadas em cima de carris. Com a abertura de um corredor, tem-se acesso ao mesmo compactando os restantes corredores. Embora este sistema seja mais caro que outros, possibilita uma maior ocupação do espaço em comparação com os sistemas referidos anteriormente (Gleissner e Femerling, 2013).

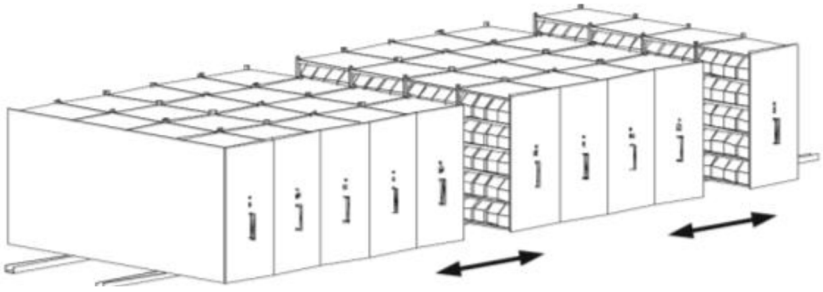


Figura 6 - Sistema de armazenamento estantes amovíveis (Gleissner & Femerling, 2013)

A decisão relativa ao layout de um armazém é um processo relativamente complexo dado que é imprescindível um conhecimento alargado quanto aos requisitos do cliente, as características e manuseamento dos produtos, e os processos de carga e descarga. Para que as operações estejam otimizadas tornando os processos mais eficazes é imprescindível que o layout corresponda às necessidades (Ross, 2015).
De acordo com os autores (Gu, J.; Goetschalckx, M.; McGinnis, L., 2010)a decisão sobre o layout de um armazém deve considerar os seguintes aspetos:

- A estrutura do armazém, isto é, os fluxos de materiais dentro do armazém;
- A dimensão do armazém e departamentos adjacentes, definindo as dimensões adequadas para cada área e departamento no armazém;
- A definição dos corredores, áreas de receção e expedição, entre outros;
- A seleção dos equipamentos do armazém para as operações necessárias, desde o picking até ao transporte e/ou expedição;
- As estratégias operacionais desejadas para o armazém, designadamente para o picking, a consolidação, e a expedição de encomendas.

É importante a simulação de várias alternativas de layout de modo a comparar as vantagens e desvantagens associadas a cada uma, para que a solução a implementar responda, tanto quanto possível aos requisitos (Ross, 2015).

2.2.3 Gestão de stocks

A gestão de stocks é uma área muito sensível, fundamental para o funcionamento de um armazém (Banzato, Banzato, Moura, & Rago, 2003). A gestão das existências permite decidir sobre o prazo e a quantidade das encomendas, e sobre o stock de segurança, de modo a não comprometer a satisfação do cliente. É com esta gestão de stocks que uma organização poderá obter ganhos tanto na ocupação do espaço, como nos recursos operacionais existentes, na otimização do tempo dos colaboradores bem como na facilitação dos pedidos. O stock é constituído pelos materiais que se encontram armazenados num determinado momento em determinado local, mesmo quando são produtos incompletos que aguardam o uso ou transformação futura até à sua venda.

A existência de um sistema de armazenagem é imprescindível à sintonia entre a produção e o consumo (Carvalho J. , 2017). Um dos aspetos que contribui para que uma organização seja competitiva é a sua capacidade para satisfazer de forma rápida as necessidades dos seus clientes. Por isso, a determinação de um nível de stock ajustado é fundamantal para manter o nível de serviço prestado ao cliente, evitando também o excesso de stock desnecessário e os custos associados ao mesmo (Lisboa & Gomes, 2008). A gestão de stocks ajuda a organização a não estar dependente dos seus fornecedores e/ou terceiros para o seu funcionamento, protegendo-se melhor de ações inesperadas que possam comprometer o bom funcionamento da organização, tais como greves, atrasos nas entregas, ou avarias, entre outros, que atrasariam o planeamento previsto (Lisboa & Gomes, 2008).

2.3 Filosofia Lean Thinking

O *Lean Thinking* tem ganho importância nas organizações ao longo dos anos dado que a base do mesmo é a eficácia e eficiência da organização. Esta filosofia é considerada como sendo umas das mais preponderantes no que toca à liderança e à gestão, permitindo melhorar continuamente os produtos, serviços e os processos através da eliminação de oito desperdícios. São diversos os desperdícios que têm sido identificados, desde o excesso de produção, stocks, esperas, transportes e movimentações, processos inapropriados, trabalho excessivo e/ou desnecessário, defeitos e desperdício intelectual (Liker, 2004). A filosofia do Lean Thinking é a cura para o desperdício (Womack & Jones, 1996), sabendo que o objetivo é a redução ao máximo e de forma contínua deste(s) desperdício(s).

A Toyota Motors Corporation foi uma empresa fundada em 1937 por Kiichiro Toyoda que te destinava a fabricar automóveis (Pollack, 1995). Com o passar dos anos, a Toyota foi-se desenvolvendo e, em 2007, torna-se o maior fabricante da indústria automóvel a nível mundial, através da implementação de uma filosofia de gestão e liderança. Esta filosofia é conhecida como Toyota Production System (TPS) que tem como principal objetivo o alcance da excelência operacional. Esta filosofia foi conduzida por Taiichi Ohno na década de 40 no Japão dado que existia a necessidade de se aumentar a eficiência na produção da fábrica eliminando assim os desperdícios existentes (Lander & Liker, 2007).
Ao contrário do que era desenvolvido até à altura, esta filosofia surge em oposição ao sistema de produção em massa defendido por Henry Ford que defendia a redução dos custos unitários com base em economias de escala com produções em massa, stocks elevados e grandes lotes de produção (Ford, 1922).

2.3.1 Toyota Production System (TPS)

A chamada casa do TPS concretiza o conceito através da analogia com uma casa composta por cinco estruturas importantes: os pilares do Just in Time (JIT) e Jidoka sustentando o telhado que representa os objetivos que se pretende alcançar. Já o interior tem as pessoas e o trabalho em equipa, e também a redução de desperdícios que conduzem à melhoria contínua. O Just in Time, um dos pilares da casa, tem como base a produção de produtos na quantidade certa, com qualidade e no tempo proposto, de modo que os produtos possam seguir para o próximo posto de trabalho sem criar tempos de espera desnecessários no decorrer dos trabalhos (Roldão & Ribeiro, 2007). É pretendido com o JIT um fluxo contínuo para eliminar os stocks intermédios e a redução de tempos de ciclos (lead time) (Ohno, 1988). O pilar Jidoka, outro apoio importante, pretende tornar os problemas visíveis, focando-se na melhoria dos processos com o intuito de eliminar os desperdícios. Pretende-se, assim, a identificação e a resolução dos problemas logo no início, isto é, na fonte, tendo por base várias ferramentas lean. Estes dois pilares encontram-se alicerçados na produção nivelada (heijunka), importante para evitar quantidades de stocks elevados (Liker, 2004), nos processos normalizados e estáveis para reduzir os erros praticados e, por conseguinte, mais fáceis de gerir (Pinto, 2006), na gestão visual e na filosofia Toyota.

Na cultura do TPS as pessoas são o centro, quer seja a posição mais alta da hierarquia quer seja a posição mais baixa ao nível operacional. A melhoria contínua, sendo o centro da casa, pretende que se trabalhe em ciclos, isto é, sempre em busca de melhorias e inovação, com o objetivo de eliminar os desperdícios. O processo de melhoria é implementado a longo prazo e com acompanhamentos diários. Para tal, é importante a implementação de um ciclo de melhoria PDCA (Plan, Do, Check, Act) que chegando à última fase regressa à primeira, de modo a identificar que novas melhorias há a implementar.

2.3.2 Ciclo PDCA

A melhoria contínua assenta num processo de ciclo PDCA (em português, planear, executar, verificar e atuar), tendo sido desenvolvido no Japão por William Deming. Pretende-se com este ciclo que as organizações planeiem uma ação, executem a sua implementação e concretização, verifiquem se a implementação correu tal como esperado e identifiquem novamente o que poderá ser alvo de melhoria.

3. Estudo de caso

A empresa considerada como estudo de caso é do ramo da cerâmica, a qual produz louça utilitária em grés, com duas grandes marcas próprias, garantindo stock para as encomendas das suas marcas num centro logístico com cerca de 5 000 m2. A produção mensal é de cerca de 1 milhão de peças para satisfazer as necessidade de stock das suas marcas e as encomendas dos seus clientes de private label.

O centro logístico está dividido em subáreas de trabalho nomeadamente, arrumação e reposição, rota (picking), consolidação e expedição de encomendas. Estas subáreas são operadas com equipamentos específicos; na arrumação e reposição o equipamento utilizado é um empilhador retrátil e na rota (picking) um order picker. Na figura 7 é possível identificar as subáreas de consolidação, isto é, a organização das encomendas em paletes (lado esquerdo da figura) e o parque de expedição existente (do lado direito da figura).



Figura 7 - Subáreas do centro logístico

Com o crescimento das marcas próprias houve um aumento de encomendas, pelo que a situação originou alguns constrangimentos no centro logístico. Para operar em Just in Time, com um fluxo contínuo, reduzindo os tempos de ciclo, e aplicando o Jidoka para a identificação dos problemas existentes e trabalhar na sua resolução, foram identificados alguns problemas no centro logístico, nomeadamente, a falta de espaço para arrumação de paletes nos racks e a falta de espaço no parque de expedição (Figura 8), para ter as encomendas devidamente separadas e organizadas. Este estudo analisou a possibilidade de construção de uma mezzanine e a alteração de estantes, de modo a colmatar alguns desses constrangimentos, através do aumento da capacidade de arrumação e da alteração dos equipamentos utilizados.

É pretendido com o JIT um fluxo contínuo para eliminar os stocks intermédios e a redução de tempos de ciclos (lead time) (Ohno, 1988). O pilar Jidoka, outro apoio importante, pretende tornar os problemas visíveis, focando-se na melhoria dos processos com o intuito de eliminar os desperdícios. Pretende-se, assim, a identificação e a resolução dos problemas logo no início, isto é, na fonte, tendo por base várias ferramentas lean. Estes dois pilares encontram-se alicerçados na produção nivelada (heijunka), importante para evitar quantidades de stocks elevados (Liker, 2004), nos processos normalizados e estáveis para reduzir os erros praticados e, por conseguinte, mais fáceis de gerir (Pinto, 2006), na gestão visual e na filosofia Toyota.

Na cultura do TPS as pessoas são o centro, quer seja a posição mais alta da hierarquia quer seja a posição mais baixa ao nível operacional. A melhoria contínua, sendo o centro da casa, pretende que se trabalhe em ciclos, isto é, sempre em busca de melhorias e inovação, com o objetivo de eliminar os desperdícios. O processo de melhoria é implementado a longo prazo e com acompanhamentos diários. Para tal, é importante a implementação de um ciclo de melhoria PDCA (Plan, Do, Check, Act) que chegando à última fase regressa à primeira, de modo a identificar que novas melhorias há a implementar.



Figura 8 - Parque de expedição

Perante os constrangimentos indicados anteriormente, e com o volume de produto acabado que é rececionado no centro logístico todos os dias, a falta de espaço para a arrumação do material é uma realidade no quotidiano da organização. Por vezes, o material tem de ser deslocado para outras naves do grupo para que possa arrumar-se num local seguro e ser registado no sistema de informação. Não há uma zona efetiva de expedição para preparar as paletes para as saídas diárias, utilizando-se uma área junto a dois cais de carga, impedindo o acesso aos mesmos (Figura 9).

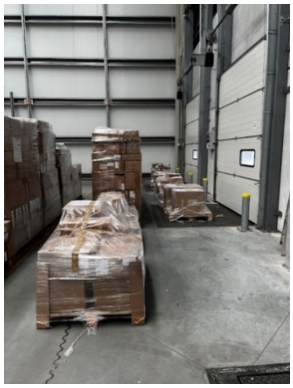


Figura 9 – Preparação de carga das encomendas a serem expedidas junto aos cais de carga

Identificados os problemas, foram consideradas algumas propostas de melhorias que se descrevem com maior detalhe a seguir.

3.1 Construção de Mezzanine

De modo a aumentar o espaço disponível no centro logístico, tendo em conta as dimensões existentes, uma das opções seria a construção de uma mezzanine, isto é, um andar intermédio entre o pavimento e o teto. O andar intermédio permitiria o aumento do espaço de consolidação, aumentando a capacidade de consolidação diária, e a libertação de espaço para o parque de expedição, eliminando a colocação de paletes em frente aos cais e permitindo isolar as cargas diárias.

De acordo com o funcionamento de meios elevatórios, e tendo por base o peso médio das paletes para cada cliente, definiu-se que a mezzanine deveria ter capacidade para suportar 1,5 toneladas/m2 para garantir o manuseamento das paletes dos diversos clientes e dois monta-cargas com segurança. Um monta-cargas faria a descida das paletes da mezzanine e o outro a sua colocação no parque de expedição. A mezzanine foi projetada com uma área de 690 m2, com cota mínima de 3,5 metros, duplicando assim o espaço de chão disponível comparativamente ao existente. Este projeto contempla trabalhos de construção civil bem como trabalhos de estrutura metálica, tal como se indica da Tabela 1, assegurando as condições de segurança com a colocação de guarda metálica, escadas e perfis metálicos na zona dos monta cargas.

Tabela 1 - Especificação de trabalhos e valor da construção da mezzanine

Especificação de trabalhos	Valor
Trabalhos de estrutura metálica	144 000 €
Trabalhos de construção civil	69 000€
Total	214 000€

A mezzanine permitirá maior flexibilidade na área de consolidação e no parque de expedição, uma vez que a área de consolidação seria a parte superior da mezzanine e a área sob a mesma seria parque de expedição. Estima-se que os monta-cargas tenham um custo de 34.000 Euros.

Com o investimento indicado o ganho da zona de expedição e de consolidação será de cerca de 340% em cada uma das zonas.

3.2. Empilhadores com torre trilateral

Uma das melhorias possíveis está associada aos equipamentos de movimentação de cargas existentes. Atualmente, existem dois empilhadores retráteis, com torre bilateral, e o operador mantém-se na cabine sempre ao nível do pavimento, tendo uma câmara no equipamento que auxilia o operador, para proceder à colocação/retirada da palete na/da estante. Além disso, estão em operação dois order pickers. Os retráteis fazem a arrumação e reposição de material e os order pickers procedem à retirada de material (rotas), isto é, colocam o material disponível na zona de consolidação. A Figura 10 mostra aspetos de um empilhador com torre bilateral e torre trilateral.



Figura 10 - Empilhador com torre bilateral (esquerda) e empilhador com torre trilateral (direita)

De modo a aumentar a capacidade de arrumação no centro logístico, uma das possibilidades seria a substituição dos empilhadores retráteis por empilhadores com torre trilateral. Os retráteis em operação necessitam de mais espaço para a movimentação de cargas quando comparados com os trilaterais porque estes funcionam com os garfos lateralmente ao contrário dos retráteis. Com esta mudança de equipamentos, os corredores entre estantes poderiam ser reduzidos para 1,65 m de largura, havendo um aumento na capacidade em mais de 30%. Desta forma, deixariam de ser necessários os order pickers porquanto o trilateral pode ser utilizado em atividades de picking, não sendo apenas exclusivo para arrumação e/ou reposição. Além disso, espera-se um aumento da produtividade e eliminação de perdas de tempo na arrumação e reposição de paletes dado que o colaborador sobe com a cabine nessas operações, ficando com melhor perceção da colocação da palete, o que permite mais versatilidade nos equipamentos e um aumento da eficiência e eficácia nos processos.

Os equipamentos trilaterais funcionam com um sistema de guiamento, seja por perfis metálicos, seja por guiamento automático (cabo elétrico). Existem diversos tipos de perfis para guiar estes equipamentos, em "L" ou em "U", fixados ao solo O guiamento automático baseia-se na colocação de um cabo elétrico no solo que produz um campo magnético que guia o equipamento, sendo ainda possível o guiamento por laser que não requer a colocação de qualquer cabo, considerando a posição de refletores do sinal que orientam o equipamento de forma segura. Os custos estimados para a aquisição de trilaterais em duas vertentes, com cabo e com guias de perfis metálicos são os indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Custo dos equipamentos e montagem

Equipamento	Valor
Trilateral - MCC16	97 800€ cada unidade
Montagem e instalação de fio elétrico	6 000€

O equipamento trilateral (MCC16 – 110) opera a uma altura de 11 metros sendo alimentado por uma bateria de lítio, podendo operar em corredores com 1,60 m de largura (acresce o guiamento do equipamento).

3.3. Estantes

Com a possibilidade de otimização dos corredores entre as estantes considerando a utilização do equipamento trilateral, este necessita de uma largura de corredor livre de cerca de 1,80 m contemplando já o guiamento do equipamento. Assim, para avaliar o ganho em número de estantes fez-se um estudo com a mudança da largura de corredores de 3,40 m (atual) para 1,80 m.

Atualmente o centro logístico conta com 10 corredores, tendo estes 2 blocos de estantes, havendo 20 blocos de estantes com 51 alvéolos em 7 posições em altura, garantindo espaço para 7140 paletes. Uma vez que com os trilaterais os corredores são reduzidos, há um ganho de espaço anteriormente desperdiçado. Esse ganho traduz-se em mais 6 blocos de estantes com 51 alvéolos em 7 posições em altura e ainda um aproveitamento de um bloco com 42 alvéolos em 7 posições em altura na parte central do centro logístico, garantindo igualmente o guiamento e o acesso às estantes. Comparando a situação atual (7140 alvéolos) com a proposta de melhoria (9576 alvéolos), verifica-se um ganho de cerca de 34%. Este aumento na capacidade das estantes traduz-se num investimento de 75 000€, tendo por base, as características dos racks já existentes.

Para reorganizar e ajustar os corredores ao novo layout será necessário deslocar as estantes existentes, sendo necessário considerar um custo de manuseamento para esvaziar as estantes (em blocos), desmontar o bloco, colocar os guiamentos e montar as novas estantes. De acordo com o estudo elaborado, a primeira e última estantes do centro logístico não serão desmanchadas e recolocadas dado que o espaço entre a(s) estantes(s) existente(s) já cumpre o mínimo de distanciamento entre os pilares de suporte de carga das instalações. Assim, serão desmontados e recolocados 18 blocos de estantes já existentes e as novas estantes, de acordo com a distância mínima para a laboração com os novos equipamentos trilaterais.

De modo a calcular o custo de esvaziamento dos blocos de estantes a serem deslocados, foram analisados os tempos de colocação e retirada de paletes em cada uma das posições por diversos operadores dos retráteis em operação, tendo-se obtido uma valor média de 216 segundos para as 7 posições em altura. Tendo por base a ocupação do centro logístico nos últimos 12 meses, este tem em média uma taxa de ocupação de 90 a 95%, isto é, cerca de 6426 paletes (90%). Considerando o cenário de não ser deslocada a primeira e última estante, ou seja, 714 paletes (2 estantes com 51 alvéolos cada uma e 7 posições), serão necessárias cerca de 49 horas de manuseamento de paletes. Este valor apenas considera a retirada das paletes das estantes. Deverá considerar-se ainda a necessidade de outro colaborador para colocar as paletes nos novos locais destinados a arrumação dos

materiais. Este procedimento terá de ser repetido aquando da instalação das novas estantes, pelo que o total de horas a considerar é de 98 horas. O custo médio de manuseamento de paletes seria o indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Custo por tipologia de trabalho

Tipologia de trabalhos	Custos associados
Novas estantes + custo de desmontagem e montagem	75 000,00 €
Custo de manuseamento de paletes	1958,40 €
Total do investimento	76 958,40 €

4. Cenário intermédio

Uma vez que o investimento na mezzanine e na mudança de equipamentos e estantes é elevado, considerou-se a possibilidade de vários cenários. Assim, foram identificados os constrangimentos indicados na Tabela 4 e categorizados de acordo com a prioridade na sua resolução. A categorização como "prioridade máxima" indica que é um problema que está a afetar o decorrer dos trabalhos no centro logístico. O nível de "prioridade" corresponde a um problema que resolvido através de uma medida de mitigação temporária, solucionado com a transferência de material de stock para outras naves na empresa e/ou aluguer de equipamentos.

Tabela 4 - Categorização da prioridade de cada constrangimento e área a intervir

Constrangimento	Categorização de prioridade	Área a intervir
1 - Falta de espaço na zona de expedição	Prioridade máxima	Mezzanine
2 – Falta de espaço na zona de consolidação	Prioridade máxima	Mezzanine
3 – Falta de espaço nos alvéolos de picking	Prioridade	Estantes
4 – Disponibilidade de equipamentos	Prioridade	Equipamentos

De acordo com a categorização indicada anteriormente, a construção da mezzanine é um dos investimentos que mais versatilidade dá ao centro logístico, uma vez que resolveria a falta de espaço nas zonas de expedição e consolidação. Ainda de referir que a parte superior da mezzanine, indicada para a zona de consolidação, é uma área bastante extensa, podendo ser também usada para arrumação de paletes.

Em ambos os cenários foram determinadas as reduções de custos operacionais diretos, verificando-se que o retorno do investimento não é significativo face ao elevado investimento inicial. Esta análise simplista permite considerar que que o investimento não será viável. Contudo, há ganhos intangíveis que não foram considerados e que devem ser levados em conta. A título ilustrativo vale a penas destacar a organização do espaço e a correspondente redução de custos de manuseamento. Na situação atual, sempre que há expedição de produtos para um cliente o parque de expedição é reorganizado de modo a que as cargas dos clientes fiquem juntas. Além disso, há outros ganhos não considerados no projeto tal como a possibilidade de venda dos retráteis em utilização aquando da aquisição de trilaterais, e a correspondente redução dos custos de manutenção dos equipamentos que, atualmente, têm mais horas de operação requeridas pelo manuseamento e alteração constante da localização de paletes em várias naves da empresa. Em alternativa ao investimento estimado, a resolução dos problemas identificados exigiria a aquisição de um novo armazém, com preços da ordem de 800€/ m2. O novo armazém deveria ter cerca de 7 a 10 000 m2, requerendo ainda o custo das estantes, equipamentos e mão-de-obra para a transferência das paletes de um armazém para outro, sendo este investimento superior ao estimado para a melhoria da situação existente.

Tendo em consideração os cenários estudados, recomenda-se o desenvolvimento do projeto em duas fases, implementando, numa primeira fase, o cenário intermédio correspondente à construção da mezzanine para fazer face a alguns constrangimentos no imediato e, numa segunda fase, a alteração do layout do armazém e a substituição dos equipamentos. Esta abordagem permitirá a realização de investimentos faseados e a adaptação incremental da operação às novas capacidades do armazém, permindo ajustes na implementação da segunda fase com base na experiência adquirida com as alterações executadas na primeira.

5. Conclusão

O presente artigo apresenta algumas propostas de melhoria para o armazém estudado, de modo a responder a alguns dos constrangimentos existentes, tais como a falta de arrumação de paletes nas estantes e a falta de espaço no parque de expedição. Essas propostas permitirão ter as encomendas devidamente separadas e organizadas por cliente e/ou transportador.

Uma das soluções propostas foi a construção de uma mezzanine e a alteração de estantes, aumentando a capacidade de arrumação, requerendo ainda a alteração de equipamentos. Tendo por base os orçamentos recolhidos, a construção da mezzanine e a inclusão de dois monta-cargas para subida e descida de paletes exigiria um investimento de cerca de 248 000€. Este investimento permite um ganho da zona de expedição e de consolidação de cerca de 340% em cada uma das zonas, permitindo uma maior versatilidade no espaço ganho. A alteração de estantes e equipamentos (aquisição de trilaterais) permitirá fazer duas ações, a arrumação/reposição e o picking à estante, ao invés da situação atual que requer dois equipamentos individuais para cada ação – o retrátil faz a arrumação/reposição e o order picker faz o picking à estante. Com a alteração para trilaterais é inevitável a alteração das estantes, resultando num aumento a capacidade de armazenagem em cerca de 34% quando comparada com a situação. Esse investimento é de cerca de 77 000€ (para estantes) e de cerca de 200 000€ de equipamentos e instalação (considerando 2 trilaterais).

Com a construção da mezzanine há um ganho de espaço adicional, a possibilidade de aumentar a capacidade de consolidação, bem como a flexibilidade que o investimento proporciona na utilização deste espaço. A alteração de estantes e equipamentos permite um ganho de novas estantes (34% quando comparado com o cenário atual) e eficiência no manuseamento, eliminando a necessidade de orders pickers, o que melhora a eficácia e eficiência dos processos.
De um modo global, estas melhorias têm impacto a nível de espaço e de organização:

- reduzindo os constrangimentos existentes no parque de expedição, aumentando a capacidade de arrumação de paletes em estante, e dando maior segurança;
- evitando movimentações desnecessárias por permitirem separar as encomendas por cliente e evitarem a transferência de paletes para outras naves do grupo;
- reduzindo o tempo de manuseamento ao nível operacional e melhorando os processos;
- dando maior flexibilidade e versatilidade ao novo espaço ganho, dispondo de uma área polivalente para diversos trabalhos que sejam necessários.

Em síntese, com as melhorias propostas, o centro logístico resolveria os constrangimentos encontrados e teria maior versatilidade para futuros desafios, tais como o potencial aumento da procura, melhorando a sua capacidade e eficiência de um modo sustentável na área da logística.

Referências

Banzato, E., Banzato, J., Moura, R., & Rago, S. (2003). Atualidades Na Armazenagem. Imam.

Burganovaa, N., Grznar, P., Gregor, M., & Mozol, Š. (2021). Optimalisation of Internal Logistics Transport Time Through. Transportation Research Procedia 55, 553-560.

Carvalho, J. (2012). Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento (Vol. Cap. 1 e 2.). Edições Sílabo.

Carvalho, J. (2017). Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento (2º). Lisboa: Edições Sílabo.

De Koster, M., & Warffemius, P. (2005). American, Asian and third-party international warehouse operations in Europe: A performance comparison. International Journal of Operations and Production Management. doi:https://doi.org/10.1108/01443570510608592

Ford, H. (1922). My life and work. Filiquariam Publishing.

Gleissner, H., & Femerling, J. (2013). Logistics - Basics - Exeecices - Case Studies. doi:http://doi.org/10.1007/978-3-319-01769-3

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. European Journal of Operational Reserach, 177, Issue 1, 1-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. European Journal of Operational Research, 203, Issue 3, 539-549. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031

Kemp, A. (março de 2018). Taiichi Ohno: Hero of the Toyota Production System. Obtido de Manufacturing trends: https://blog.qad.com/2018/03/taiichi-ohno-toyota-production-system/

Lander, E., & Liker, J. (2007). The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. International Journal of Production Research.

Liker, J. (2004). The Toyota Way – 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer (1st ed.). New York: McGraw-Hill.

Lisboa, J., & Gomes, C. (2008). Gestão de Operações (2ª Edição). Porto: Económica, Vida.

Maia, L., Alves, A., & Leão, C. (2014). Implementar o modelo de produção lean na ITV para promover sistemas eco eficientes. Revista Nova Têxtil.

Moura, B. (2006). Logística, Conceitos e Tendências. Centro Atlântico.

Ohno, T. (1988). Toyota Production System - Beyond Large-Scale Production. New York: New York: Productivity Press.

Pinto, J. (2006). Gestão das Operações na Industria e nos Serviços - 1ª edição. Lisboa: LIDEL . Edições Técnicas Lda.

Pollack, A. (1995). Toyota Names President Outside Founding Family. International Business.

Roldão, V., & Ribeiro, J. (2007). Gestão das Operações: Uma Abordagem Integrada. Lisboa: Monitor.

Ross, D. (2015). Distribution Planning and Control. Springer. doi:http://doi.org/10.1007/978-1-4899-7578-2

Womack, J., & Jones, D. (1996). Womack, J., & Jones, D. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Journal of the Operational Research Society, .

ID13
Optimizing Equipment Replacement Decisions: A Life Cycle Cost Analysis Approach Considering System Interdependencies

Rodrigo Farate de Albuquerque ([1,2]), José Torres Farinha ([1,2]), Fernanda Coutinho ([1,2]), José Luís Martinho ([1,2])
rodrigo.farate.a@gmail.com, tfarinha@isec.pt, fermaco@isec.pt, martinho@isec.pt

([1]) Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra Institute of Engineering, Portugal
([2]) Research Centre in Asset Management and System Engineering (RCM2+), Polytechnic Institute of Coimbra, Portugal

Abstract

The equipment replacement decision process is fundamental to maintaining efficiency and keeping pace with technology. To this end, asset replacement models are used, which tend to consider the equipment in isolation, ignoring the interconnection of equipment. This approach can lead to sub-optimal decisions that do not maximize the useful life of the equipment or system. This article studies the iterations and dependencies of the equipment system, making it possible to understand, based on a Life Cycle Cost (LCC), from which point it would be most beneficial to replace each module of equipment involved in the system, but also how to optimize the associated costs and system performance.

Keywords: system, equipment replacement, LCC

1. Introduction

In the world of asset management, the decision to replace equipment is fundamental to guaranteeing operational effectiveness and efficiency and keeping up with technological advances. Asset replacement models consider equipment in isolation, ignoring the interdependence that may exist within the system in which it is located. This approach can result in sub-optimal evaluations that don't improve the useful life or performance of the system and can be costly for the organization.

The article is structured with 4 sections as follows:

- **Section 1 - Introduction:** a brief introduction of the subject to be discussed throughout the article;
- **Section 2 - State of the art:** a literature review of the topics on which the article will be based;
- **Section 3 - Case study:** application of the theory developed using the combination of depreciation models and the replacement Total Average Cost Minimization Method with Reduction to Present Value (MTACM-RPV);
- **Section 4 - Conclusion:** presentation of conclusions about the study developed.

2. State of the art

2.1 Life cycle

Farinha (2018) consider that the life cycle of an asset has eight stages, starting with the decision to purchase and ending with its decommissioning/renewal. In Figure 1 is presented a various stages of the life cycle.

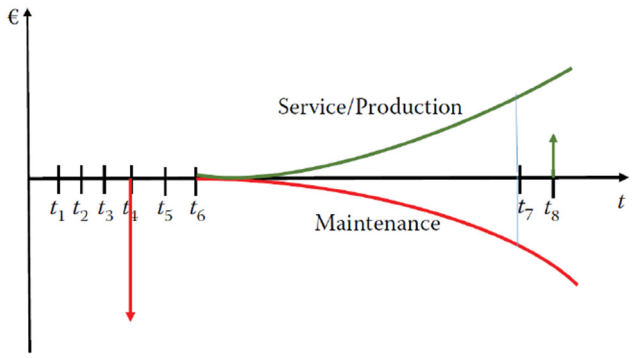


Figure 1 - Stages of a physical asset cycle. (Farinha, 2018)

- t1 – Acquisition Strategy

The Strategic Asset Management Plan is developed as a planning tool to clarify the procedures to be implemented for the equipment.

- t2 - Terms of Reference

One of the most important stages is the development of documentation, known as terms of reference, for the purchase of the equipment, in which the asset's specifications are defined.
At this stage, specifications are defined such as the associated risk for the user and others, technical details, specific maintenance, key performance indicators, among others. All technical documentation must be accompanied by the terms of reference.

- t3 – Consultation

Offers are requested and received, analyzing only those that meet the terms of reference, allowing a more appropriate decision to be made.

- t4 – Acquisition

The proposals submitted are analyzed, taking into account various parameters, and the most suitable one is purchased

- t5 – Commissioning

Verification is performed to ensure that the equipment complies with the terms of reference, and then the commissioning to check that legal standards are met once everything is up and running.

- t6 - Starting Production / Starting Maintenance

Start planning, management and control of the equipment to reconcile everything that affects the equipment. In this way, equipment performance is maximized.

- t7 - Economic / Lifespan

Econometric models are used to evaluate the life cycle of the equipment. This evaluation requires various costs and benefits associated with the equipment.

- t8 - Renewal /Withdrawal

If the organization continuously monitors its econometric models, this phase only requires an annual update.

In order to conduct an LCC analysis, all the costs associated with these stages are taken into account, the most relevant of which are t2, t6, t7 and t8.

2.2 Depreciation models

According to Oliveira (1982), depreciation is closely linked to investment in assets that last more than a year within an organization. It refers to the wear and tear that occurs over time from using, or even not using, these assets in a scenario of technological progress. In accounting, depreciation is considered a cost that gets recouped when products are sold, creating a capital reserve specifically for renewing assets in the future. Economically, it's viewed not as a cost but as a source of funds for the organization's operations. Calculating depreciation can be challenging due to the wide variety of equipment involved.

2.3 Economical models for replacement

According to Meyer (1971), replacement models are vital for good organizational management because they enable informed equipment decisions. These models employ mathematical techniques to forecast future maintenance and operational costs. They also enable comparisons between the total expenses of sustaining existing equipment and the cost of purchasing new equipment. This analysis demonstrates the importance of analyzing not only direct expenses, but also indirect costs as well as aspects such as new equipment efficiency and failure rates. Farinha (2018) indicates that numerous important criteria influence the choice to replace an asset. These considerations include the asset's economic life, market worth, obsolescence, lifetime, associated costs, and potential advantages from replacement. By taking these aspects into account, models that use various depreciation methodologies can be developed to determine the optimal moment for replacement.

3. Case study

Traditionally, replacement models consider only the equipment itself. However, in most cases, the equipment is part of a system of equipment, which may or may not be interdependent. This raises the question: **How can equipment that is dependent on other equipment be influenced in the replacement analysis?**

To answer this question, a system consisting of three different pieces of equipment was considered: Equipment 01, which was considered the main equipment, and Equipment 02 and Equipment 03, which were considered secondary equipment. For the case study presented, false data was used, based on articles already published by Farinha (2020, 2023) To simulate the system values, it was considered the proportions shown in Table 1.

Table 1 - Data used in the case study

	Percentage	Acquisition costs	Functioning Costs	Maintenance costs
System	100%	50 000,00 €	8 250,00 €	1 500,00 €
Equipment 01	80%	40 000,00 €	6 600,00 €	1 200,00 €
Equipment 02	12%	6 000,00 €	990,00 €	180,00 €
Equipment 03	8%	4 000,00 €	660,00 €	120,00 €

3.1. Depreciation models

To determine replacement models, first determine depreciation using several approaches. Depreciation methods often follow a similar approach: begin with an initial value (acquisition value) and progress toward a final value (disposal value) over a set number of years (lifetime). Each method generates the depreciation curve differently. In this context, we will look at the linear, exponential, and sum-of-digits method.

Linear method

To calculate depreciation, d, and the value of equipment at a certain period of time (n), V_n Equations 1 and 2, respectively, are used:

$$d = \frac{C_0 - R}{N} \qquad (1) \qquad\qquad V_n = C_0 - (n * d) \qquad (2)$$

Where:

C_0 - Initial value of equipment
R - Residual value of equipment after N time intervals
N - Time interval corresponding to R
n - Period of time below N

Exponential method

To calculate the depreciation rate, T, Equation 3 is used, and to calculate the disposal value, Vn, Equation 4 is used.

$$T = 1 - \sqrt[N]{\frac{R}{C_0}} \qquad (3) \qquad\qquad V_n = C_0 * (1 - T)^n \qquad (4)$$

Sum of digits method

To calculate the depreciation, it is necessary to calculate first the SD, using the Equation 5, then the annual depreciation value, d, using the Equation 6. Finally, to calculate the V_n, its used the Equation 7.

$$SD = \frac{N(N+1)}{2} \quad (5) \qquad d_n = \frac{N-(n-1)}{SD} * (C_0 - R) \quad (6) \qquad V_n = V_{n-1} - d_n \quad (7)$$

The Figure 2 shows the behavior of the depreciation methods applied to the system. The equipment analyzed individually shows a pattern similar to that shown in Figure 2. For the system's disposable value, three euros were considered, with one euro for each equipment.

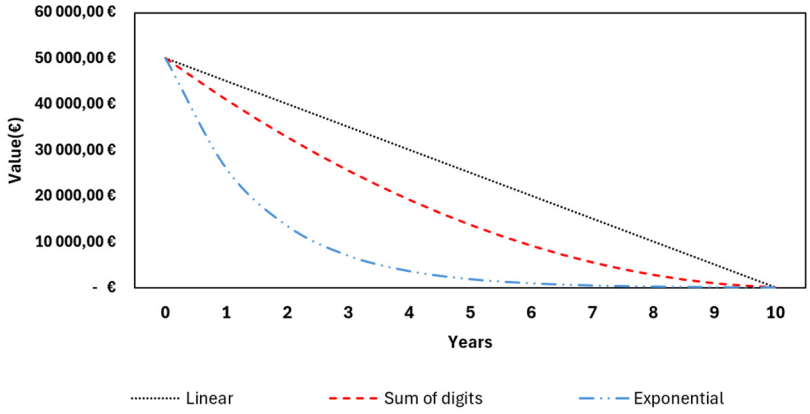


Figure 2 - Comparison of different depreciation methods considering the equipment system

3.2. Replacement models

Replacement models are global tools that assist organizations in identifying key decision points during the equipment life cycle. Based on the replacement projection, we can examine alternative approaches to obtaining new equipment. Despite being extremely beneficial to companies, replacement models have two disadvantages.

The first is heavily dependent on disposal value. To remedy this, an ideal scenario would be to get the market value each year. Because this strategy is not always practicable or feasible, it is vital to examine various depreciation strategies to comprehend the model's behavior and make better decisions.

The second aspect is a lack of consideration for production continuity. This is especially important when assessing substantial equipment, because removing and installing equipment requires time. The models do not incorporate details about the costs of replacing equipment, such as loss of production.
Analyzing equipment dependency becomes useful when the premature failure of one piece of equipment influences the production of the remaining equipment. This is because it takes time to remove, install, and adjust a new piece of equipment.

In addition to depreciation methods the apparent rate, i_A, is used to calculate the present value of the values over the years.

$$i_A = i + \theta + i \times \theta \qquad (8)$$

Where:

i – Capitalization rate
θ – Inflation rate

Minimizing the Total Average Cost Method with Reduction to the Present Value (MTACM-RPV)

To reach the final Cn result, the Equations 9, 10 and 11 are used:

$$C'_n = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} \frac{C_{Mi}}{(1+i_A)^i} \qquad (9)$$

$$C''_n = \frac{V_A - \frac{V_{Cn}}{(1+i_A)^i}}{n} \qquad (10)$$

$$C_n = C'_n + C''_n \qquad (11)$$

Where:

$C'n$ - Average annual maintenance and operating costs over the period n
C_{Mi} - Operating and maintenance costs for the period i
$C''n$ - Average annual depreciation cost over the period n
V_A - Acquisition value
V_{Cn} - Cession value in year n
C_n - Total cost

Table 2 - MTACM-RPV results for System and Equipment 01

System			
Year	**Linear**	**Sum of digits**	**Exponential**
01	16 812,41 €	20 626,77 €	34 636,98 €
02	16 707,15 €	19 872,92 €	28 293,61 €
03	16 642,08 €	19 228,50 €	24 255,22 €
04	17 109,78 €	19 179,74 €	22 129,67 €
05	17 446,88 €	19 057,49 €	20 734,63 €
06	17 739,16 €	18 942,24 €	19 845,44 €
07	18 023,37 €	18 865,86 €	19 309,04 €
08	18 317,89 €	18 842,32 €	19 025,22 €
09	18 633,07 €	18 877,90 €	18 928,41 €
10	18 975,30 €	18 975,30 €	18 975,30 €

Equipment 01			
Year	**Linear**	**Sum of digits**	**Exponential**
01	13 452,35 €	16 505,83 €	28 880,95 €
02	13 367,99 €	15 902,25 €	23 184,65 €
03	13 315,78 €	15 386,26 €	19 662,28 €
04	13 689,80 €	15 346,85 €	17 824,95 €
05	13 959,35 €	15 248,68 €	16 644,65 €
06	14 193,05 €	15 156,14 €	15 903,11 €
07	14 420,30 €	15 094,73 €	15 459,81 €
08	14 655,81 €	15 075,63 €	15 226,09 €
09	14 907,86 €	15 103,85 €	15 145,51 €
10	15 181,55 €	15 181,55 €	15 181,55 €

Table 3 - MTACM-RPV results for Equipment 02 and Equipment 03

Equipment 02			
Year	**Linear**	**Sum of digits**	**Exponential**
01	1 879,55 €	2 335,63 €	3 626,31 €
02	1 798,77 €	2 177,30 €	2 987,30 €
03	1 722,38 €	2 031,63 €	2 532,28 €
04	1 684,32 €	1 931,82 €	2 233,71 €
05	1 634,65 €	1 827,23 €	2 002,36 €
06	1 580,99 €	1 724,84 €	1 820,44 €
07	1 526,48 €	1 627,22 €	1 674,44 €
08	1 472,60 €	1 535,31 €	1 554,74 €
09	1 420,09 €	1 449,36 €	1 454,61 €
10	1 369,31 €	1 369,31 €	1 369,31 €

Equipment 03			
Year	**Linear**	**Sum of digits**	**Exponential**
01	1 344,58 €	1 649,39 €	2 655,39 €
02	1 336,19 €	1 589,17 €	2 205,89 €
03	1 331,01 €	1 537,69 €	1 911,70 €
04	1 411,21 €	1 576,62 €	1 798,81 €
05	1 466,28 €	1 594,99 €	1 722,47 €
06	1 510,58 €	1 606,72 €	1 675,81 €
07	1 550,25 €	1 617,57 €	1 651,59 €
08	1 588,37 €	1 630,28 €	1 644,33 €
09	1 626,70 €	1 646,26 €	1 650,12 €
10	1 666,28 €	1 666,28 €	1 666,28 €

3.3 Discussion

This approach is particularly promising when using the sum-of-digits depreciation method. From the tables provided above, it can be seen that with this method, although the system only showed the replacement year on the eighth, equipment 03 showed the replacement year on the third.
As there is a five-year gap as can be seen in Table 2 and Table 33, you could consider waiting to replace the equipment 03 and only replacing it when the equipment 01 is replaced, as this is the equipment that has the greatest impact on the models. This option can be considered in order to avoid non-production costs associated with changing equipment 03, as without it equipment 01 cannot operate.
In the case of equipment 02, when analyzed individually, it can be seen Table 3 that equipment 02 presents years of replacement that are longer than the system's. In this case, we can consider anticipating the replacement of the asset in order to avoid operating efficiency losses and monetary losses.

To confirm this theory, it would be necessary to conduct a case study with real data, including interest and inflation rates, purchase, maintenance and operating costs. It would also be necessary to make a comparative analysis between the impact this measure could have and the individual approach to the replacement of equipment.

4. Conclusion

In this study, the complexity involved in the decision to replace equipment within interdependent systems was addressed using a LCC analysis. The results indicate that when considering equipment replacement in isolation, sub-optimal decisions can occur that do not maximize the useful life and performance of the system as a whole. On the other hand, by including the interdependencies between equipment, it is possible to identify more beneficial replacement points and minimize the total costs associated with the equipment.

References

Farinha, T. (2018). Asset maintenance engineering methodologies. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.

Farinha, T. (2020). Life cycle cost versus life cycle investment – a new approach. WSEAS Transactions on Business and Economics, 743-753.

Farinha, T. (2023). Physical assets life cycle evaluation models—a comparative analysis aiming the sustainability. Sustainability, 1-18.

Meyer. (1971). Equipment Replacement Under Uncertainty. Management Science, 750-758.

Oliveira. (1982). Engenharia economica. Uma abordagem às decisões de investimento. CIP - Brasil.

ID14
Contributos para a Digitalização no Chão de Fábrica de uma Empresa de Metalomecânica

M. P. Araújo ([1]), A.M. Silva ([1,2])
PG49985@uminho.pt, asilva@dps.uminho.pt

([1]) Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Portugal
([2]) Algoritmi, Universidade do Minho, Portugal

Resumo

A História é sucessivamente marcada por revoluções que colocam a descoberto o potencial do ser humano. A quarta revolução industrial manifesta a unificação do mundo físico com a componente tecnológica, que serve de alerta às empresas que desejam permanecer no mercado e serem competitivas no setor em que operam.
Está, portanto, delineada a linha condutora deste projeto.
Este estudo serve de suporte à empresa BEETSTEEL no percurso de melhorar os seus resultados produtivos. A metodologia iniciou-se com o estudo de softwares que recolham os dados, no chão de fábrica, para a digitalização dos processos e de controlo da produção, em tempo real. Para o efeito, foram analisados três programas de digitalização que objetivam atuar como interface entre o espaço fabril e a gestão e providenciar o essencial dos resultados. Não foi possível aplicar um teste piloto, no entanto, da aplicação, prevê-se ganhos na eliminação do trabalho manual da rastreabilidade, supressão, quase total, da atividade de registo de horas, previsão do funcionamento dos equipamentos, antevisão dos materiais em stock e estado das encomendas. A transparência de dados pela obtenção de uma fábrica digitalizada implica que certas condições sejam previamente asseguradas, pelo que, a adoção de ferramentas digitais está dependente de um modelo que visa o alinhamento da organização, dos métodos, das pessoas e da tecnologia. Assim, foi realizado um levantamento da atual situação da empresa, que inclui a análise dos aspetos que comprometem o desempenho dos colaboradores (segurança no trabalho e fluxos de produção) e os fatores que expõem deficiências aquando da execução das peças (performance das máquinas, qualidade dos materiais e ferramentas, nível de manutenções e KPI implementados).
Os resultados sugerem, indubitavelmente, que o setor do ferro é a área mais crítica e que a melhoria dos resultados produtivos só será possível se se aliar as novas tecnologias às mudanças no grau de eficiência e destreza das tarefas operacionais diárias.

Palavras-Chave: Digitalização, *Layout*, Produtividade, Segurança

1. Introdução

A problemática da investigação tem como título “Contributos para a Digitalização do Chão de Fábrica de uma Empresa de Metalomecânica” e visa expor as propostas de melhoria que apontem minimizar e anular os impactos negativos no espaço fabril de uma transformadora de metais, aliado, por um lado, à adoção de melhores práticas no decorrer da atividade profissional e, por outro lado, pela influência de ferramentas digitais.

A procura por melhores produtos, processos e serviços é cada vez maior e as empresas têm de se conseguir adaptar às novas realidades. Para isso, o chão de fábrica deve acompanhar essa expansão através da integração holística de pessoas, máquinas e processos, possibilitando a obtenção de melhores resultados e de um planeamento mais coordenado. A solução pode passar pela digitalização dos processos, que promova a recolha de todos os dados na área da produção e operação, para que, no futuro, a monitorização de toda a cadeia de valor seja facilitada e a tomada de decisões seja mais correta e assertiva (Marnewick, 2022). A quarta revolução industrial é marcada por sistemas inteligentes que analisam e apresentam os melhores resultados, em tempo real (Xu, 2021). Manifesta a unificação de dois mundos: físico e tecnológico, permitindo que haja a troca de informação interdepartamental. A partir do panorama atual, procura-se identificar as principais causas que impedem a organização de ter um aproveitamento melhor e de que forma os recursos tecnológicos impactuam, positivamente, o quotidiano de uma empresa e, que poderão contribuir, na atuação profissional dos colaboradores. O presente estudo visa explorar a influência de ferramentas digitais no espaço fabril de uma empresa transformadora de metais. O primeiro objetivo deste estudo reside na recolha, processamento e análise de informação sobre o atual estado da empresa, mais concretamente, relativo aos equipamentos e nível de tecnologias empregues no chão de fábrica. O objetivo segundo passa por propor métodos e ferramentas e adotar novas práticas que visem melhorar o desempenho da organização.

Este artigo está dividido em cinco partes. O primeiro destes alberga a introdução, de seguida, é apresentado o enquadramento teórico, a terceira destina-se à metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto, a quarta secção abarca a atual situação da empresa e expõe a análise, a apreciação e interpretação de soluções propostas para os problemas e a última secção (quinta) enfatiza considerações finais.

2. Enquadramento Teórico

Ao utilizar-se a digitalização como núcleo fulcral desta investigação, é conveniente estabelecer-se princípios estruturantes à sua implementação. Cada chão de fábrica reflete uma história diferente, sintetizando relatos e práticas mais e menos positivas.

O trabalho envolvido nesta matéria serve, simultaneamente, duas dimensões: inicialmente, a digitalização despoleta-se como sendo o gatilho de mudança de pensamento e cultura na empresa. Os agentes organizacionais percebem que as técnicas tradicionais não são suficientes e que novas competências devem emergir no sentido de facilitar o trabalho e acrescentar valor aos produtos. No seguimento desta temática, surge como oportunidade para a tomada de decisões mais rápidas e precisas pois, o estado de maturidade das tecnologias é elevado e a acessibilidade é garantida. O presente documento procura estudar todos os aspetos que possam influenciar os resultados da empresa. Assim, a reformulação de um chão de fábrica com auxílio da digitalização é importante e faz a diferença, mas não é independente. Significa isto, que se a empresa estiver ciente dos pontos fracos e não apresentar soluções para os resolver, a implementação de ferramentas digitais não é suficiente para suprir todos os aspetos negativos no chão de fábrica e seguir para a melhoria contínua.

Primeiramente, as organizações devem ser o suporte dos colaboradores e agir em prol do seu bem-estar, não só, por uma questão legal, mas, acima de tudo, porque criar um espaço em que os mesmos se sintam seguros e confortáveis é o primeiro passo para garantir que se reúnem as condições para que os trabalhadores possam ser produtivos na realização da sua atividade. Além disso, uma empresa que não adote medidas de segurança tende a ter custos maiores porque não está preparada para fazer face a situações de perigo, ou seja, os indicadores de desempenho do trabalhador e de produtividade acabam por ser tendenciosos.

Mais se acrescenta, que relacionado com os instrumentos tecnológicos alude-se ao contributo de um *layout* bem configurado. A organização pode começar a utilizar processos automáticos e em tempo real para ser mais eficiente, aumentar a lucratividade e produtividade, mas será inábil se a disposição dos equipamentos em fábrica não seguir uma lógica e um fluxo de passagem de materiais contínuo, já que, implica tempos de espera longos, organização do espaço confusa e custos elevados. Desta forma, os resultados da produção acabam por ser manchados. Assim, e porque se considera que os tópicos acima mencionados estão relacionados, procurou-se perceber o que dizem estes temas na teoria e na prática, elencando que melhorias poderiam ser efetivadas.

Inerente à indústria 4.0 existem nove conceitos que, segundo Vaidya et al. (2018), formam os alicerces desta filosofia: **01 – Big Data:** Traduz-se numa grande quantidade de informações. A recolha de dados de múltiplas fontes e sistemas permite criar uma base de dados ideal na procura de padrões, erros, soluções e, acima de tudo, dar apoio à tomada de decisão, em tempo real. **02 - Robôs Autónomos:** A autonomia da robótica surge da necessidade de maior precisão e rapidez. Além disso, são indicados para executar tarefas repetitivas e sem valor acrescentado, conseguindo que as tarefas de valor acrescentado sejam atribuídas aos colaboradores (Dossou, 2022). De referir, que as máquinas conseguem economizar tempo ao suprimir algumas das tarefas porque já são concebidas para múltiplas funções (Schuh et al., 2014). **03 - Simulação:** A utilização de *softwares* de simulação tem um papel fulcral nas indústrias. Utilizar tecnologias que consigam modelar os processos e espelhar, em modelos virtuais, o desempenho de máquinas, mão de obra, produtos, serviços, entre outros é um mecanismo que pode ajudar na tomada de decisão. Deter métodos de antecipação de resolução de problemas ajudam na redução de custos, no incremento de qualidade dos produtos e na melhoria contínua dos processos (Rojek et al., 2021). **04 - Integração Horizontal e Vertical:** A indústria 4.0 assume a existência de três tipos de integração: integração horizontal, integração vertical e integração de engenharia ponta a ponta.

A integração horizontal traduz-se na fusão de empresas do mesmo ramo. A colaboração de várias redes de valor da mesma área permite reduzir a concorrência e fortalecer a sua posição no mercado. A integração vertical corresponde à ligação interdepartamental. Significa, que dentro da mesma empresa múltiplos departamentos se unem e têm acesso a toda a informação, sendo capazes de gerir a produção de forma eficiente e de configurar os equipamentos para desenvolverem diversos produtos. A integração de engenharia ponta a ponta consiste num serviço personalizado que acompanha a conceção do produto desde a entrada da matéria-prima até à entrega ao cliente.

Todo o processo é moldado consoante os requisitos do cliente, tendo por base ferramentas de *software* e mecanismos de automação que integram várias áreas (*design*, manutenção, produção, entre outras) (Sony, 2018). **05 - *Internet* das Coisas*:*** Integração de diversas tecnologias e soluções de comunicação. Resulta da sinergia máquinas, informação e colaboradores que ilustram um ganho em toda a cadeia de valor (Atzori et al., 2010). **06 - Cibersegurança:** O aumento de conectividade com o meio digital exige a necessidade de proteger os sistemas industriais. A utilização de sistemas criptográficos reforçados permite restringir o acesso e, como tal, a diversidade de invasores (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2019). Não obstante, as vantagens referidas, é de destacar que estes sistemas podem facilmente ficar comprometidos. **07 - Computação em *Cloud:*** Os serviços em cloud estão fortemente desenvolvidos no seio industrial. O desenvolvimento da infraestrutura digital possibilita a partilha e o armazenamento de dados o que viabiliza às organizações as informações em tempos de reação mínimos. Mais se acrescenta, que este mecanismo garante a sua aplicabilidade a um vasto conjunto de máquinas no chão de fábrica (Vaidya et al., 2018). Assim, os serviços são orientados para os equipamentos. Esses dados da produção e funcionalidades serão orientados para a nuvem, tendo sempre acesso a toda a informação da produção (Rüßmann, 2015). **08 - Produção Aditiva*:*** Permite a conceção de estruturas variadas e complexas. As diferentes geometrias obtêm-se, em primeiro, pela construção do modelo/objeto num *software* em três dimensões e, de seguida, pela reprodução do desenho, a qual ocorre quando são emitidos jatos de tinta em camadas sucessivas até formar o produto final (Danilo, 2019). A utilização desta tecnologia em contexto industrial é excelente porque, por um lado, permite poupar muito tempo de produção, redução em transportes e de *stock* (Rüßmann, 2015) e, por outro lado, deixa que sejam criados produtos novos e customizáveis, a um baixo custo e com menor tempo produtivo. Esta técnica desempenha um papel fulcral na indústria 4.0, já que, é capaz de atender às necessidades dos clientes com pedidos cada vez mais específicos e individuais e evitando seguir pelos processos tradicionais que são mais demorados, exigentes e avultados. **09 - Realidade Aumentada:** Por meio de tecnologias consegue transpor a realidade física para a realidade virtual. Utilizar dispositivos que consigam captar o real é de facto uma técnica recente, mas que deverá alcançar novos patamares no futuro. Estes sistemas virtuais deverão ter adjacente alguma sensibilidade ao toque, gestos e reconhecimento de voz e serão capazes de captar todo o meio envolvente a que a realidade está sujeita e, desta maneira, será possível testar diversos cenários para uma mesma situação (Bierhold, 2018). A utilização desta tecnologia em chão de fábrica, por exemplo, permite fornecer aos colaboradores informações e/ou instruções, em tempo real, sobre os processos das máquinas e possibilitava uma tomada de decisão mais assertiva (Rüßmann, 2015).

Tendo por base as pesquisas efetuadas e comparando com a empresa em estudo, verifica-se que estes desenvolvimentos ainda não existem. Nesse sentido, a empresa pretende aumentar a sua capacidade produtiva instalada, através da aquisição de novas máquinas e equipamentos tecnologicamente mais avançados, e em linha com a transformação para a Indústria 4.0.

No seguimento do tópico anterior, refere-se que a valorização e compreensão de um *layout* bem estruturado, por meio da participação da administração e dos colaboradores que propiciem o desenvolvimento adequado, é um fator determinante para se atingir altos níveis de produtividade e rentabilidade.
"O layout de uma instalação pode ser definido como a organização de tudo o que é necessário para a produção de bens ou prestação de serviços" e, inclusive, afirma que "a localização das instalações na área da fábrica é conhecida por ter um impacto significativo nos custos de produção, no trabalho em processo, nos prazos de entrega e na produtividade" (Drira, 2007). É considerada uma das áreas-chave e cujo contributo é significativo na produtividade da manufatura, maior controlo, menores deslocações, maior otimização e no que respeita a questões de tempo e questões monetárias. Desta forma, é claro que um *layout* bem conseguido impacta positivamente a produtividade da empresa. Ainda assim, é sensato pensar que existem causas que podem limitar a reestruturação do local produtivo: insuficiência do espaço, questões de segurança e de estrutura do edifício, localizações fixas e investimento (elevado) (R. & H. L. Muther, 2015). Apesar disso, atenta-se para o facto de que o espaço fabril deve acompanhar as mudanças, ou seja, durante o seu ciclo de vida - projeto, implementação, crescimento, maturidade e obsolescência (Gurd, 2007) – devem ser implementados e preparados planos que visem a reorganização do espaço para que, a longo prazo, sejam evitados gastos desmedidos ou que não vão de encontro aos objetivos da empresa (R.& H. L. Muther, 2015).

Depreende-se, que por meio de pesquisas, são quatro os principais tipos de posicionamento do ambiente industrial (R. & H. L. Muther, 2015; Peinado, 2004). ***Layout* por Célula** – a fábrica está organizada por estações e cada uma é concebida para fabricar o produto/família de produtos do início ao fim, compartimentando todas as ferramentas, materiais e máquinas necessários à conceção do mesmo (Santos, 2019). ***Layout* Fixo** - o produto está imobilizado e a sua fabricação depende da deslocação de colaboradores, máquinas e matérias-primas (Suzano, 2015). ***Layout* por Processo** - é utilizado quando existem operações e máquinas com funções semelhantes. Deste modo, e como se observa, cada secção destes equipamentos e operações é relativamente autónoma e quando o material se desloca pela linha de produção vai sendo sujeito a alterações consoante o produto que se quer fabricar (Kovács, 2019). ***Layout* por Produto** - caracterizado para produtos com pouca diversidade e com processos muito padronizados,

em que os artigos, seguem um fluxo contínuo, sequencial e cujas tarefas para o colaborador são simples e repetitivas (Suzano, 2015).

Acrescenta-se, ainda, o facto de conseguir projetar os locais de maior risco associado. Assim, é possível identificar, por meio de gestão visual, espaços com maior perigo inerente, bem como saídas para evacuação do pessoal. Em resumo, a solução passa por implementar modelos tecnológicos que nos permitam obter esses dados rapidamente, controlar o estado dos equipamentos e assegurar que as manutenções são realizadas e, é neste ponto, que se devem escolher ferramentas digitais proporcionadas pelo avanço da indústria 4.0. Por outro lado, o ponto ótimo de produtividade e organização não é conseguido na corrente disposição de equipamentos no chão de fábrica, pelo que, a existência de melhores resultados só será possível se a empresa fizer mudanças na área fabril. As questões de segurança procuram elencar normas que protegem os colaboradores. Quando estes conceitos são uma prioridade, o trabalhador consegue-se concentrar no seu trabalho e ser proativo, estar presente e evitar ausência ou absentismo, ou seja, o seu bem-estar influencia os resultados da empresa, pelo que, é do interesse das organizações criarem um espaço dotado de conforto e de tecnologias de segurança para salvaguardar os profissionais.

3. Metodologia

A concretização dos objetivos enunciados passa, primeiramente, por uma revisão de literatura que espelhe os inúmeros estudos e artigos científicos sobre a digitalização do chão de fábrica. Para tal, recorreu-se a base de dados fidedignas, cuja veracidade dos documentos é altamente qualificada (*Scopus* e *Science Direct*). A quantidade informativa é imensa, pelo que, para auxiliar a pesquisa buscou-se delimitar o acesso por via de palavras-chave. O estudo empírico caracterizou-se por uma investigação-ação em que houve uma recolha de informações sobre o estado atual da empresa. No que concerne à recolha destes dados – referencias fulcrais e elementares na consecução do projeto – foram reunidas narrativas das diferentes sensibilidades dos profissionais, em particular, dos responsáveis de cada secção. Realizado este passo, foram elencadas as áreas mais problemáticas, sendo elas, a monitorização de equipamentos, controlo da produção, disposição do espaço fabril, qualidade das ferramentas e consumíveis. De seguida, foram propostas soluções para colmatar essas falhas. A implementação de um *software* de controlo da produção soluciona vários problemas. Por um lado, guarda as informações dos equipamentos e prevê quando é que estes devem ser sujeitos a manutenções, focando em manutenções preventivas e, por outro lado, fornece informações sobre os operadores e os equipamentos, em tempo real, contribuindo, não só, para o desempenho das máquinas, mas, também, para o bem-estar e saúde dos trabalhadores. Além disso, apresentou-se uma nova configuração de *layout* e foi realizada uma pesquisa sobre materiais substitutos, mas com melhor qualidade.

4. Estado atual da empresa – análise, resultados e discussão

Este artigo promove o estudo da digitalização no chão de fábrica numa empresa de metalomecânica. A pesquisa foca os processos, operações e principais problemas e, de seguida, analisa e seleciona propostas de melhoria. De referir, que aglomera as principais ilações no que se refere às normas de segurança.

4.1. Identificação dos Problemas na secção do Ferro

Antes de implementar uma ferramenta de digitalização, tentou-se perceber que fatores prejudicam a eficiência da organização. Os principais problemas residem em quatro áreas: monitorização dos equipamentos, *layout*, utilização de consumíveis e/ou equipamentos de baixa qualidade e controlo da produção.

4.1.1 Monitorização dos Equipamentos

O quadro 1 que mostra, de forma sucinta, a capacidade que cada equipamento tem, de acordo com o fornecedor e face às capacidades da empresa, em contraste com a capacidade máxima, utilizada de momento. Além disso, evidencia-se a necessidade em fábrica - o quanto necessário é determinada máquina para a conceção do trabalho - e a necessidade de intervenção - o quanto é necessário intervir em determinado equipamento para que a empresa consiga usufruir por completo. Optou-se por utilizar estas variáveis num formato ordinal para facilmente se perceber o grau de necessidade. Depreende-se, que as máquinas, cuja importância em fábrica é maior são aquelas que apresentam mais problemas. Estes equipamentos estão praticamente a trabalhar a metade da sua capacidade real. Tal, deve-se a alguns mecanismos que não estão a funcionar no modo automático, ou seja, uma tarefa que deveria ser executada rapidamente, está a ser morosa porque a sua realização é manual. O facto de estas máquinas serem recentes e apresentarem alguns dilemas levou a concluir que a manutenção não é periodicamente realizada, ou seja, há problemas que se arrastam e que interferem com o nível de produtividade por conta da falta de verificações.

Tabela 1: Análise da Capacidade, Estado e Necessidade das máquinas na secção do Ferro.

SECÇÃO	EQUIPAMENTO	CAPACIDADE DE CADA MÁQUINA	CAPACIDADE ATUAL DE CADA MÁQUINA	ESTADO DO EQUIPAMENTO (RECENTE/ OBSOLETO)	NECESSIDADE EM FÁBRICA	NECESSIDADE DE INTERVENÇÃO
FERRO	*Danobat*	6 ton/dia	3 ton/dia	recente	3	3
	Messer	2ton/dia	1,2 ton/dia	recente	3	3
	Serra de fita Manual	250 un/dia	250 un/dia	obsoleto	3	2
	Máquina de Soldadura por Arco Submerso	72 mt/dia	não solda	obsoleto	2	3
	Máquina de Soldar Conetores	1000 un/dia	800 un/dia	recente	2	2
	Geka	450 un/dia	400 un/dia	obsoleto	3	2
	Serrote Manual	3 ton/dia	3 ton/dia	obsoleto	3	1

LEGENDA 1	Nenhuma Necessidade = 1	Alguma/ Pouca Necessidade = 2	Muita Necessidade = 3

LEGENDA 2	ton = toneladas	um = unidades	mt = metros

4.1.2 *Layout*

Apesar de todos os esforços realizados pela empresa, um dos impedimentos para o seu crescimento é a limitação dos atuais meios físicos e materiais. Esta oposição não ocorre pela amplitude da sua infraestrutura, mas pela necessidade de reorganização estrutural do espaço e pela falta de equipamentos tecnologicamente avançados, necessários para dar uma rápida resposta e com maior qualidade aos seus clientes. Para que visualmente se perceba as alterações, fez-se uso da ferramenta diagrama de esparguete.

O *layout* atual não faz sentido, já que, não tem em conta questões importantes como espaços de acondicionamento de matérias e mobilidade interna. Ao longo de todo o chão de fábrica, existem vários portões que permitem que as cargas e descargas possam ser efetuadas em qualquer local, ou seja, escolhe-se fazer este processo de acordo com o que for mais conveniente para o encarregado da fábrica. No entanto, a distância entre o escritório do encarregado de fábrica a algumas das secções é muito longa e a passagem de peças montadas entre os vãos faz com que haja muito tempo de espera. De momento, o rendimento atual médio é de 25 toneladas por semana. O incremento deste fator envolve urgentemente a reformulação do espaço. De momento, as deslocações que ocorrem tendo em conta a atual disposição no espaço fabril estão na ordem dos 5530,00€ anuais.

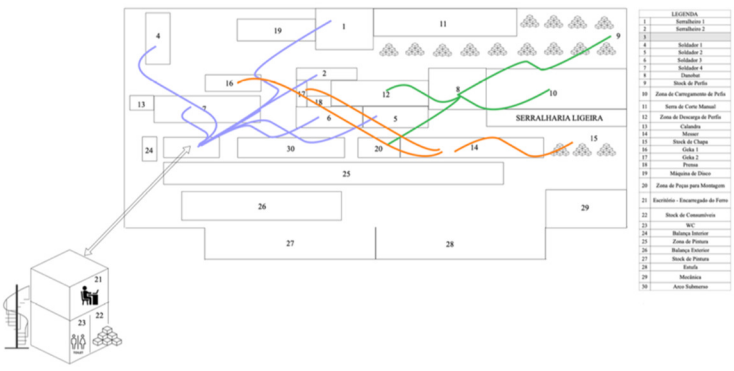


Figura 1: Layout do Ferro - Esquema Atual, segundo o Diagrama de Esparguete.

Por oposição, apresenta-se uma proposta. A implementação deste novo *layout* é concebida para agilizar a produção. Estrategicamente, existem alterações que deveriam ser efetuadas para que, internamente, haja maior organização. A reformulação do layout fará com que seja possível criar um fluxo contínuo das peças e permite que os trabalhadores não tenham de percorrer grandes distâncias sempre que precisam de consultar com o encarregado, ir ao WC ou fazer uso de mais consumíveis.
Com a reformulação do *layout*, consegue-se perceber que existe um ganho sobretudo para os soldadores e serralheiros, já que, passam a estar "todos juntos" e mais perto dos artigos com que necessitam de trabalhar. Verifica-se que há um colaborador cuja melhoria não é notável, contudo poderá colmatar-se essa falha colocando nesse posto de trabalho o soldador cuja dependência seja menor e os resultados de desempenho sejam melhores. zona de limpeza apresenta desfechos piores porque os resultados foram construídos seguindo a lógica do que se encontra, neste momento, em fábrica. Se o *layout* fosse reformulado não existiria uma zona de limpeza, mas sim uma máquina que procedesse à remoção de escórias automaticamente, suprimindo a maioria do trabalho manual. Em resumo, estas mudanças fazem com que seja possível obter um custo de deslocações anual na ordem dos 2270,00€, uma redução de mais de 50%.

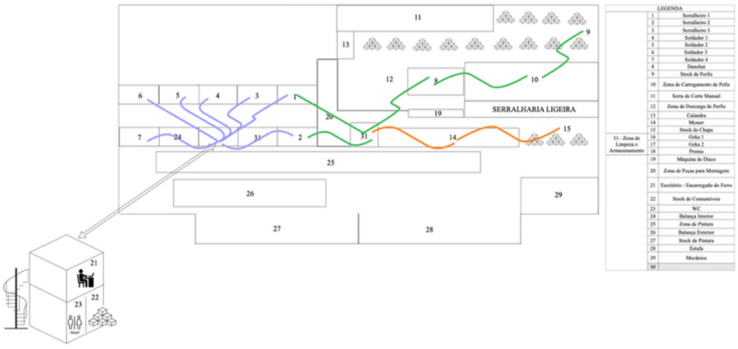


Figura 2: Layout do Ferro - Proposta de Melhoria como fator de Otimização do Processo Produtivo, segundo o Diagrama de Esparguete.

4.1.3 Controlo da Produção

O processo cujo desenvolvimento é considerado fraco é, essencialmente, no que respeita ao controlo de produção, visto que a empresa não recorre a métricas nem a indicadores para avaliar a sua performance. Assim, discute-se sobre a importância de conectar a digitalização ao controlo da produção da secção do ferro. Da implementação, espera-se conseguir automatizar alguns dos processos e obter informação em tempo real, sendo possível realizar análises importantes e conclusões para a gestão. Este é um tema atual e como tal existe uma vasta oferta no mercado de *softwares* para a digitalização do chão de fábrica. O principal problema passa pela não reflexão do que ocorre no espaço fabril, ou seja, o objetivo é encontrar um *software* que se adeque ao grupo e se renove consoante as necessidades da empresa no presente e no futuro. A escolha do sistema a implementar centrou-se nos seguintes tópicos:

- A empresa teria de ter sede em Portugal;
- Empresas do mesmo setor que já tenham apostado nesta implementação;
- O *software* teria de apresentar funcionalidades básicas como: cálculo de vários indicadores, sobretudo o OEE, possibilidade de extrair relatórios em inúmeros formatos e distintos intervalos de tempo e que fosse o mais simplista e intuitivo possível, já que, muitos dos colaboradores já têm alguma idade.

Foi realizada uma pesquisa de mercado e procedeu-se ao contacto com empresas que operam nesta área. De seguida, realizou-se uma análise SWOT para sintetizar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças referentes a cada *software*, a qual está exposta na figura 3. Face à atual disponibilidade financeira da empresa, proximidade em termos de localização e desenho do programa, refere-se que a escolha no *software ShopFloor Studio* seria a mais conveniente.

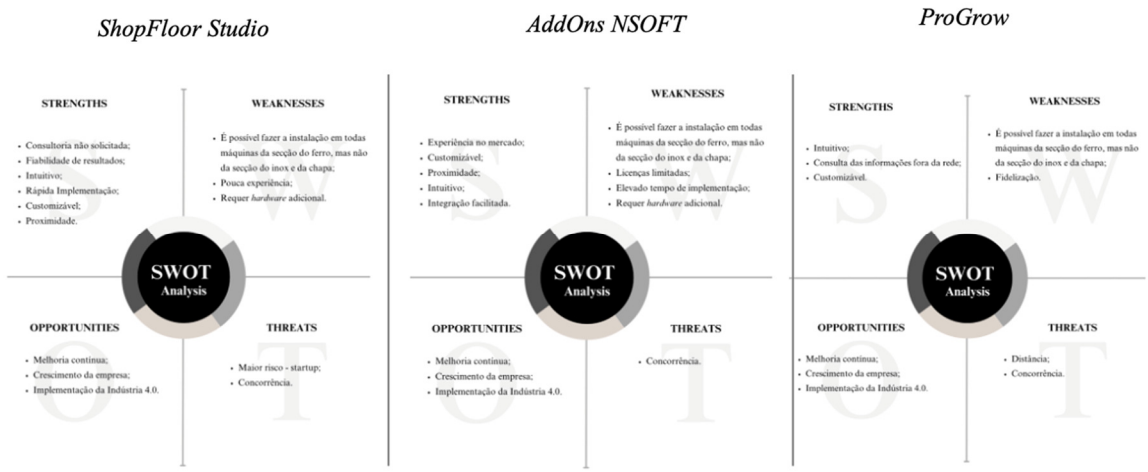


Figura 3: Análise SWOT dos softwares de digitalização: ShoopFloor Studio, AddOns NSOFT e ProGrow, respetivamente.

Independentemente da escolha do *software* pode-se dizer que os seus contributos são infindáveis, auxiliando a empresa em questões de:

- Rastreabilidade das peças, ou seja, não se perde tempo a realizar a rastrear os produtos manualmente porque passa a ser uma tarefa de controlo autómato.
- Registo de Horas. Seria uma mudança significativa, já que, se traduzia em deixar de ser necessário e/ou não se perde tanto tempo a analisar o registo de trabalho de 41 funcionários. Implica que sejam entregues, ao mesmo tempo: registo biométrico de cada colaborador (a ser enviado no primeiro dia útil do mês); folhas de registo de horas semanais (contabiliza-se os dias, as faltas e as horas que estiveram em cada obra e tem de ser assinada pelo responsável em obra); as folhas de horas-extra (marca as horas-extra que cada trabalhador fez, as quais são confirmadas pelo registo biométrico e pelo responsável em fábrica, no caso de ser dentro de instalações e, no caso de ser no exterior, estas informações são asseguradas pelo *Cartrack* e pelo encarregado de obra. Acrescentam-se, ainda, documentos de folhas de comunicação de faltas/ férias e o cartão de registo mensal, o qual é preenchido pela pessoa responsável por esta tarefa, validado e assinado pela diretora da empresa. Todo este processo de agregar documentos e de confirmações pode chegar aos três dias. Se for instalado o software de controlo significa que o procedimento é realizado de forma autónoma dados como entrada, saídas e ausências. O software já registava automaticamente a picagem e a hora em que se iniciava e findava o trabalho, percebendo se fez horas-extra ou houve atrasos, contudo, a colaboradora responsável teria de confirmar as folhas de ponto de colaboradores que trabalhassem em obras externas à fábrica, pior exemplo, ou seja, existia sempre alguma perda de tempo associada a esta tarefa, mas seria uma atividade facilmente realizada em meio-dia.
- Controlo de *Stock*, isto é, deixa de ser necessário contar peças à unidade, já que, passa a ser realizado de forma automática e alerta os fornecedores assim que atinge um *stock* mínimo.
- Sustentabilidade porque as informações são guardadas na cloud, ou seja, deixa de ser necessário fazer uso de tanto papel.

A figura 4 mostra um esquema preditivo do fluxo de trabalho pré-digitalização (lado esquerdo) e pós- digitalização (lado direito).

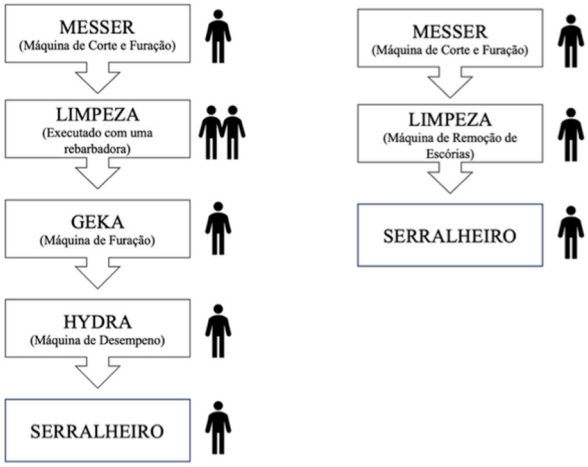


Figura 4: Esquema Preditivo do fluxo de trabalho na secção do ferro - pré-digitalização e pós digitalização, respetivamente.

Se a empresa mantiver o processo de trabalho atual, necessita de cinco colaboradores para que a peça fique no estado ideal à chegada ao serralheiro. Neste ponto, não estão contabilizadas outras tarefas, ou seja, apenas engloba a sequência de passos da peça. Com a implementação da digitalização de processos, conseguia-se suprimir, quase na totalidade, o trabalho manual da rastreabilidade. De referir, que este objetivo só seria alcançável se a máquina de corte e furação (Messer) estivesse a trabalhar a 100% porque evitava a passagem para a máquina de furação nas condições atuais (GEKA).

4.1.4 Consumíveis e/ou equipamentos de baixa qualidade

No seguimento de avaliação dos equipamentos considerou-se relevante analisar os principais entraves na execução de peças, e as principais soluções, os quais estão esquematizados no quadro 2. Para tal, recorreu-se à ferramenta 5W2H.

A tabela 2 mostra que existem alterações que implicam um custo, custo esse superior quando comparado com os consumíveis/ ferramentas que se adquirem à data, no entanto, estas alterações permitem que os colaboradores consigam realizadas as mesmas tarefas em, menos tempo, os próprios materiais apresentam maior durabilidade e a peça é concebida com um acabamento mais perfeito.

4.2. Normas de Segurança

Antes de implementar uma ferramenta de digitalização, tentou-se perceber que fatores prejudicam a eficiência da organização. Os principais problemas residem em quatro áreas: monitorização dos equipamentos, *layout*, utilização de consumíveis e/ou equipamentos de baixa qualidade e controlo da produção.

Para que visualmente seja fácil de identificar o estado vigente da organização relativamente às normas de Segurança no Trabalho, foi definida uma escala de cores que associa o vermelho ao incumprimento da norma, o pigmento amarelo à execução parcial da diretriz e o tom verde à correta concretização do regulamento. Deste modo, é possível analisar os procedimentos compatíveis, os pontos contraproducentes e efetuar uma gestão de risco adequada. De acordo com a tabela 3, depreende-se que a empresa incorre em três erros graves, no que toca a questões de higiene e segurança no trabalho. A análise supra objetiva um estado de mudança na instituição, já que, constitui riscos à conceção das tarefas e saúde dos colaboradores. Ademais, alude-se aos motivos proveitosos de que a empresa cumpre na íntegra, em particular, no que se refere aos equipamentos de proteção individual.

Tabela 2: Principais entraves na execução de peças, utilizando a ferramenta 5W2H.

5W2H	DANOBAT	MESSER	ARCO SUBMERSO	SOLDAR CONECTORES
WHAT	Melhorar o desempenho da máquina	Melhorar o desempenho da máquina	Aumentar a produtividade da máquina	Melhorar o desempenho da máquina
WHY	A falta de manutenção faz com que o equipamento não opere na sua capacidade máxima nem no seu estado ideal	A falta de manutenção faz com que o equipamento não opere na sua capacidade máxima nem no seu estado ideal	Reajustar o modo como a máquina trabalha para diminuir o número de empenos e as horas de trabalho para a mesma tarefa	Diminuição da duração do processo de solda
WHERE	Chão de Fábrica da empresa Beetsteel	Chão de Fábrica da empresa Beetsteel	Chão de Fábrica da empresa Beetsteel	Chão de Fábrica da empresa Beetsteel
WHEN	O mais breve possível, sendo oportuno que decorra nos meses restantes de 2024 e/ou no primeiro trimestre de 2025	O mais breve possível, sendo oportuno que decorra nos meses restantes de 2024 e/ou no primeiro trimestre de 2025	O mais breve possível, sendo oportuno que decorra nos meses restantes de 2024 e/ou no primeiro trimestre de 2025	O mais breve possível, sendo oportuno que decorra nos meses restantes de 2024 e/ou no primeiro trimestre de 2025
WHO	Responsável da Manutenção interna e/ou Empresa de Manutenções Externa	Responsável da Manutenção interna e/ou Empresa de Manutenções Externa	Responsável da secção do Ferro e DAP	Responsável da secção do Ferro e DAP
HOW	Agendar datas para as manutenções e cumprir o que deverá ser realizado em cada intervenção	Agendar datas para as manutenções e cumprir o que deverá ser realizado em cada intervenção	Investir em outro cabeçal (atualmente a máquina trabalha apenas com um cabeçal)	Introdução de uma tocha de uma versão mais atual
HOW MUCH	0€	0€	750€	109€

É importante referir que nenhuma máquina deste chão de fábrica é alimentada por combustível. Ainda assim, averigua-se a presença de extintores espalhados pela área de produção, contabilizando quase um extintor por cada posto de trabalho. Mais se acrescenta, que o ambiente térmico sentido no chão de fábrica não é o ideal. O padrão climático na área fabril faz-se sentir de acordo com a estação corrente: temperaturas elevadas ou baixas. A colocação de ar condicionado é impensável porque advinham muitos custos e as correntes de ar prejudicam a soldadura. Neste sentido, os colaboradores estão sujeitos a temperaturas hostis, acabando por afetar a produtividade e a concentração. Daqui advém uma questão importante: como é a saúde do trabalhador nas condições correntes? De um modo geral, não ocorrem acidentes de trabalho graves. Os acontecimentos mais recorrentes e que sucedem frequentemente são limalhas nos olhos, cortes e hematomas, mas são facilmente resolvidos dentro das instalações fabris. O absentismo é zero e as queixas, por parte dos colaboradores, são, essencialmente, de problemas musculares (dor lombar causada por uma postura incorreta ou levantamento de materiais pesados) e garganta irritada (pó da soldadura).

Tabela 3: Avaliação das Normas de Higiene e Segurança implementadas na Empresa.

NORMAS DE SEGURANÇA		SITUAÇÃO ATUAL NA EMPRESA	AÇÃO
Estrutura do Edifício	Pureza do Ar	Inexistência de ventiladores ou extratores de fumo na tarefa de soldadura.	
	Delimitação do Espaço	O piso encontra-se demarcado com linhas amarelas espessas.	
	Saídas de Emergência	O chão de fábrica está coberto com 4 saídas de emergência e vários portões.	
	Medidas de Proteção	Existem placas que informam sobre: a obrigatoriedade de utilização dos EPI e presença de quadro elétrico fotoluminescente. Acrescenta-se, que existem formas de proteção visual e auditivas aquando da utilização de máquinas (luz rotativa para empilhadores e sinal sonoro na utilização de pontes rolantes).	

NORMAS DE SEGURANÇA		SITUAÇÃO ATUAL NA EMPRESA	AÇÃO
Instalações Sanitárias	Limpeza das casas de banho	Existe um colaborador que faz a limpeza.	
	Refeitórios	Existe um refeitório para as pausas de almoço e de lanche.	
	Vestiários	Existe uma sala própria para que os colaboradores possam trocar de roupa e cacifos individuais onde coloquem os seus pertences.	
	Água	A empresa está dotada de água quente e água fria para que a higiene pessoal possa ser realizada com boas condições. De referir, que, de momento, a água não é própria para consumo.	
Saúde dos Colaboradores	Limpeza do Local de Trabalho	Nem sempre o posto de trabalho está em condições de limpeza e de localização das ferramentas, já que, os mesmos utensílios são utilizados por vários operários.	
	Caixa de 1º Socorros	Existe uma caixa de primeiros socorros na secção dos escritórios, a qual está mais distanciada do chão de fábrica. Destaca-se, o facto de não conter os artigos necessários.	
Equipamento de Proteção Individual	Cabeça	Touca ou Gorro	
	Olhos e Rosto	Máscara de Soldadura	
	Vias Respiratórias	Máscara de Partículas	
	Protetores Auditivos	Tampão Auditivo	
	Tronco e Corpo Inteiro	Avental	
	Membros Superiores e Mãos	Luvas de Soldadura e Manguito	
	Membros Inferiores e Pés	Bota de biqueira de aço com proteção de soldadura	

Legenda

A empresa cumpre corretamente este ponto.	A empresa cumpre, parcialmente, este ponto.	A empresa não cumpre corretamente este ponto.

Algumas soluções são propostas para os problemas marcados com o amarelo e o vermelho.

- Pureza do Ar – instalar extratores ou ventiladores que suguem os fumos.
- Medidas de Proteção - penalizar os colaboradores que não cumprem com as regras.
- Disponibilidade de água para consumo - dispensadores de água para empresas com opção de filtragem, espalhados pela organização.
- Limpeza do local de Trabalho - despender de 10 minutos antes do turno acabar e organizar e limpar o espaço e as ferramentas utilizadas.
- Equipamento de Primeiros Socorros - Investir numa caixa de 1º Socorros para o chão de fábrica e verificar a validade dos produtos a cada 6 meses.
- Proteção de Membros Superiores e Inferiores - investir num casaco de soldadura, ou seja, um equipamento cumpre os requisitos de dois (avental e manguitos) investir em proteção de membros inferiores com mais qualidade.

Atenta-se, que existem problemas cuja resposta de alteração deveria ser efetuada mais célere, sobretudo relacionado com a qualidade do ar - os fumos de soldadura apresentam partículas graves para a saúde e que, no longo prazo, podem dar origem a doenças - e a qualidade da água.

5. Conclusão

A introdução de um modelo de *Smart Factory* é a chave para a otimização dos processos e para a melhoria da competitividade no mercado. A aposta em instrumentos tecnológicos não será para substituir o colaborador, mas para incrementar a potencialidade evolutiva da organização. A Operação Remota na I4.0 permitirá controlar e monitorizar processos industriais remotamente, utilizando tecnologias avançadas, viabilizando a supervisão contínua de todos os processos da empresa, possibilitando a deteção de falhas e a necessidade de realização de manutenções preventivas, em qualquer altura ou local. Inerente ao processo produtivo, a empresa já pensa em adaptar as instalações existentes e realizar algumas obras de reestruturação do *layout* fabril. Considera-se que deverá haver foco, não só, em questões técnicas, mas também sobre a componente humana, já que, os colaboradores são parte integrante da empresa e contribuem para o seu crescimento. O atual estudo permitiu dotar a empresa em conhecimento, permitindo, por um lado, focar nas áreas e processos problemáticos e, por outro lado, fornecendo um recurso que propende maior controlo, maior fiabilidade, maior compreensão e detalhe e, acima de tudo, que aspire à melhoria contínua. Percebeu-se, que muitos dos ganhos implicam um investimento maior, mas que, em termos de durabilidade e melhor desempenho, estão à frente das atuais propostas. De referir, que a empresa já avançou com algumas das propostas de melhoria. As análises realizadas contribuíram para perceber que, apesar do atual estudo ainda não estar completo, afere- se que a empresa necessita de fazer algumas alterações para tornar viável a implementação de ferramentas digitais. Por meio da proposta de reformulação do *layout* foi possível demonstrar os ganhos que existem se as peças seguirem um fluxo contínuo, além de contribuir com uma melhor disposição organizacional e menos movimentos e deslocações. A monitorização dos equipamentos é uma questão crítica, influenciando diretamente a produção. Consequentemente, recomenda-se a adoção de tecnologias que permitam, por um lado, controlar a produção (a nível de indicadores de desempenho e performance de máquinas e colaboradores) e assegurar que as manutenções sejam realizadas no momento certo para evitar a sua inatividade durante o tempo previsto de produção. No que concerne à segurança dos colaboradores, afere-se que a empresa incorre em erros graves, no entanto, prevê-se a sua retificação até ao final do vigente ano.
A materialização destas alterações, conjetura alguma complexidade, pelo que, devem ser cautelosamente pensadas, para que, num futuro próximo, o controlo e supervisão de toda a cadeia de valor seja facilitada e a tomada de decisões seja mais correta.

Referências

Atzori, L. I. A. M. G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805.

Bierhold, T. (2018). For a better understanding of Industry 4.0 – An Industry 4.0 maturity model. 1–22.

Danilo, I. (2019, December 30). The Importance of Additive Manufacturing as Digital Technology for Industry 4.0: A Systematic Review. 654–667.

Dossou, P. E. et at. (2022). Industry 4.0 concepts and lean manufacturing implementation for optimizing company logistics flows. Journals & Books, 200, 358–367.

Drira, A. (2007). Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control, 31(2), 255–267. 141

Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2019). A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. IEEE Access, 7. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908780

Gurd, B. N. S. V. (2007, January 29). Effectiveness Measurement of Facilities Layout. 165–168.

Marnewick, C. (2022). Digitalization of project management: Opportunities in research and practice. Project Leadership and Society, 3.

Muther, R. & H. L. (2015). Systematic Layout Planning (R. Muther & L. Hales, Eds.; 4th ed., pp. 1–1).

Peinado, J. G. A. R. (2004). Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços).

Rüßmann, M. L. M. G. P. W. M. E. a P. H. M. and J. J. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. In Digital Transformation (Issue Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.

Rojek, I., Macko, M., Mikołajewski, D., Sága, M., & Burczyński, T. (2021). Modern methods in the field of machine modelling and simulation as a research and practical issue related to Industry 4.0. In *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* (Vol. 69, Issue 2). https://doi.org/10.24425/bpasts.2021.136717

Schuh, G. P. T. W.-P. C. W. A. R.; P. J.-P. (2014). Collaboration Mechanisms to Increase

Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. Taylor & Francis Group, 6, 416–432.

Suzano, M. (2015, May). O USO DA TÉCNICA DE "LAYOUT" IMPACTANDO DIRETAMENTE NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO: JUST-IN-TIME PARA OBTER LUCRATIVIDADE NA PRODUÇÃO.

Vaidya, S. A. P. B. S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. Procedia Manufacturing, 20, 233–238.

Xu, X. L. Y. V.-H. B. W. L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. Journal of Manufacturing System, 61, 530–535.

ID15
Aplicação de ferramentas e princípios Lean no armazém de uma empresa de componentes para automóveis

Júlia Kilic ([1]), Ângela Silva ([2])
Pg49979@uminho.pt, asilva@dps.uminho.pt

([1]) Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
([2]) ALGORITMI Research Centre, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

Resumo

A elevada preocupação das empresas e o seu compromisso com a redução dos prazos de entrega, aliada à crescente variedade de produtos, cada vez mais evidente, é de extrema importância. Também importante é a aposta na melhoria das operações logísticas, muitas das quais registadas no próprio armazém, tanto de matérias-primas como de produtos acabados. Este projeto tem como objetivo implementar melhorias no armazém de produto acabado e matéria-prima de uma empresa de fabricação de componentes para a indústria automóvel, utilizando os princípios e ferramentas associadas a filosofia *Lean*. Inicialmente, os colaboradores foram acompanhados para compreender as suas metodologias e a forma como trabalhavam, bem como as principais dificuldades que sentiam e possíveis melhorias na sua metodologia de trabalho. Através da aplicação dos 5S, de ferramentas associadas à Filosofia *Lean* e da gestão visual e da normalização de processos, pretende-se melhorar a eficiência operacional do armazém. Foram criadas normas detalhadas para a realização das tarefas e definidos processos claros através de instruções de trabalho específicas e reorganizados os materiais armazenados, de forma a evitar o congestionamento nos corredores do armazém. Foi também definida a realização de auditorias internas ao funcionamento do armazém para perceber se as normas criadas estão a ser cumpridas. Com a implementação destas propostas pretende-se a redução de desperdícios, o aumento da produtividade, a melhoria na organização dentro do armazém e na segurança do ambiente de trabalho.

Palavras-Chave: Ferramentas *Lean*; Redução de desperdícios; Gestão de armazéns.

1. Introdução

Martins et al., (2020) defende que a competitividade no mercado globalizado exige que as empresas sejam ágeis e eficientes em todas as etapas do processo, desde o fornecimento de matéria-prima até a entrega dos produtos acabados aos clientes. Para de Jesus Pacheco et al., (2023) as operações realizadas ao nível do armazém são essenciais para que uma empresa se destaque no seu setor, aumentando assim a sua competitividade face às empresas concorrentes. A realização correta das operações de armazenamento e um bom fluxo de materiais desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto final é fundamental para garantir o bom desempenho de toda a cadeia de abastecimento. Assim, a correta gestão dos armazéns é essencial para um bom desempenho de toda a empresa. Todas as operações realizadas no armazém são de extrema importância e devem ser uma das preocupações fundamentais das empresas visto que são fonte do custo e da maioria dos erros Gomes, (2016); Pinto, (2021).

Este projeto foi realizado no armazém de uma empresa especializada na fabricação de peças decorativas para a indústria automóvel.
Com este projeto pretende-se obter os seguintes objetivos: eliminar desperdícios identificados nos principais processos de armazenamento; aumentar a eficiência através da eliminação de erros e desperdícios e redução de custos com atividades que não acrescentam valor; alcançar a normalização dos processos; conseguir um ambiente organizado, eficiente ao nível de espaço e ágil na resposta aos clientes.
Assim, de forma geral com esta dissertação pretende-se dar resposta à seguinte pergunta de investigação: "De que forma a Filosofia Lean quando aplicada a um armazém pode ser uma vantagem ao nível da eficiência/eficácia para a indústria que a aplica?"

O artigo está dividido em capítulos. O primeiro capítulo serve de introdução, proporcionando uma visão geral do tema, o segundo é dedicado à revisão da literatura, onde são definidos os conceitos teóricos necessários. No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada no estudo, detalhando a abordagem analítica utilizada. Passando para o quarto capítulo, centra-se na descrição da empresa em estudo, na realização de uma análise da situação atual

e apresentadas propostas de soluções para resolver os problemas previamente identificados. O quinto capítulo diz respeito aos resultados obtidos e discussão dos mesmos. Finalmente, o sexto capítulo conclui o trabalho, resumindo as principais conclusões e oferecendo insights e recomendações baseadas nos resultados do estudo.

2. Revisão bibliográfica

Segundo o (Council of Supply Chain Management Professionals, 2024) o conceito de gestão cadeia de abastecimento pode ser definido como a gestão e o planeamento de todas as ações que envolvem a transferência de bens entre fornecedores e clientes e vice-versa. É importante referir que também inclui todo o tipo de contacto e colaboração com parceiros, como, por exemplo prestadores de serviços terceirizados e intermediários ou agentes. Por sua vez, a logística pode ser definida como a parte da SCM que é responsável por planear, implementar e controlar todo o fluxo de bens existente entre a origem e o destino e o fluxo inverso entre o destino e a origem sempre tendo como objetivo principal a eficiência e eficácia dessas operações. A logística é igualmente responsável pela armazenagem eficiente dos bens físicos e informações a eles associadas, com o intuito de atender às necessidades dos clientes. A figura 1 é uma representação da cadeia de abastecimento.

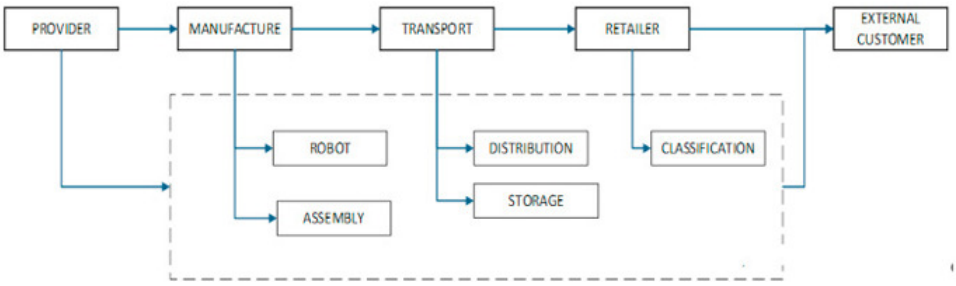


Figura 1. Representação da cadeia de abastecimento. Fonte: Fierro et al., (2020)

De acordo com Baker & Canessa (2009) e Pereira et al. (2019) os armazéns constituem em si um aspeto muito importante e fundamental para as cadeias de abastecimento, e podem definir o sucesso ou o fracasso das empresas, pois o tecido empresarial cada vez torna-se mais competitivo. Assim sendo, a gestão de stocks representa uma das atividades cruciais dentro de um armazém e tem um grande impacto na cadeia de abastecimento. A logística e a atividade de gestão de stocks tornou-se essencial por ser um meio de vantagem competitiva entre as empresas, visando sempre a melhoria contínua.

Para Baker & Canessa (2009) é essencial ver um armazém como um ponto de cross-docking, além das funções normais de armazenamento. É cada vez mais importante que os produtos permaneçam o mínimo tempo possível no armazém, evitando a fase de arrumação. Idealmente, os produtos prontos devem ser colocados diretamente nas paletes para expedição ao cliente. Isto aumenta a agilidade na cadeia de abastecimento e permite uma resposta rápida às necessidades dos clientes.

No entanto, são vários os autores que defendem a importância da existência de stocks nas empresas. De acordo com John J. Bartholdi & Steven T. Hackman (2019) são varias as vantagens que se encontram adjacentes à constituição de stocks, nomeadamente, atender as necessidades dos clientes em períodos de incerteza; vantagens de descontos com a compra de maior quantidade de matéria-prima; flexibilidade operacional – resposta rápida a flutuações do mercado; redução de tempos de espera por parte dos clientes; prevenção de interrupções na produção e melhoria do serviço ao cliente.

Torna-se relevante salientar as principais operações realizadas em armazém. Segundo Gomes (2016) os processos básicos em armazém podem ser divididos por seis operações distintas. A receção, conferência e arrumação que dizem respeito a operações de entrada de materiais em armazém enquanto, as restantes três operações, o picking a preparação e a expedição são operações que se encontram diretamente relacionadas com as saídas de matérias de armazém. Na figura 2 encontram-se representadas as principais operações realizadas em armazém.

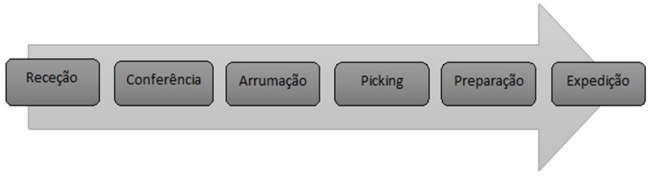


Figura 2. Principais operações realizadas em armazém. Fonte: Carvalho et al., (2010)

As ferramentas Lean são cruciais em armazém, otimizando processos, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência operacional e devem como forma de otimizar as principais operações mencionadas anteriormente.
O Lean Production teve as suas origens no Japão após a Segunda Guerra Mundial associado Toyota Production System (TPS) (Ohno, 1988). No entanto, a designação de Toyota Production System surge por primeira vez divulgada mais tarde no libro de (Womack et al., 1990). De acordo com Dombrowski et al., (2017) o principal objetivo é eliminar desperdícios e melhorar continuamente os processos de produção para fornecer produtos de alta qualidade de forma eficiente aos clientes. O Lean Thinking é uma filosofia da qual Womack & Jones (1997) defendem para a mesma um total de 5 princípios-base, nomeadamente, especificar valor; identificar o fluxo de valor; fluxo contínuo; sistema Pull e perseguir a perfeição.
Associado à filosofia lean são identificados 7 desperdícios. De acordo com Melton, (2005) qualquer atividade realizada no processo de produção de um produto que não agregue valor desde a ótica do cliente é considerado como desperdício, ou "Muda" palavra utilizada pelos japoneses para representar os desperdícios.
Ohno, (1988) identificou sete tipos de desperdícios, nomeadamente, transporte (movimentos desnecessários); inventário (stock excessivo); movimentações desnecessárias; esperas (tempo de inatividade dos operadores); sobre processamento (atividades que não acrescentam valor desde a ótica do cliente); sobreprodução (produzir mais quantidade do que o necessário) e, por último, os defeitos no produto.
São várias as ferramentas lean que podem ser usadas beneficamente em contexto de armazém. Segundo Medyński et al., 2023 as ferramentas mencionadas de seguida ajudam a atingir os princípios-base do Lean Thinking. Uma das primeiras ferramentas mencionadas pelo autor são os 5S, constituído com 5 palavras de origem japonesa, nomeadamente:

- Seiri (Classificação) – Separar o necessário do desnecessário;
- Seiton (Ordenação): Organizar os itens de forma a facilitar o acesso;
- Seiso (Limpeza): Manter o ambiente limpo e livre de objetos desnecessários;
- Seiketsu (Padronização): Criar normas para manter a organização;
- Shitsuke (Disciplina): Manter e revisar os padrões regularmente.

De acordo com Neves et al., (2018) a aplicação dos 5S com o outras ferramentas, nomeadamente, o ciclo PDCA e com a ferramenta 5W2H trás muitas vantagens para a empresa em níveis de melhorias. O ciclo PDCA consiste em 4 princípios, são eles, planear, executar, verificar e agir. Planear consiste em identificar problemas e desenvolver um plano para solucioná-los, executar consiste em implementar o plano definido anteriormente para testar a sua eficácia, verificar diz respeito a analisar os resultados e verificar se os objetivos foram alcançados e, por fim, agir no sentido ajustar o plano para aplicar melhorias e reiniciar o ciclo. A ferramenta 5W2H pode ser utilizada na primeira fase do ciclo PDCA como forma de identificar o plano de ação.
Segundo Medyński et al., 2023 a utilização do método Kanban que representa em si um método de gestão visual auxilia na otimização e eficiência nos processos de trabalho, por exemplo, através da utilização de quadros Kanban ou cartões Kanban, que mostram o fluxo de trabalho e as tarefas de cada operador, respetivamente.

3. Metodologia e métodos

O projeto da dissertação foi desenvolvido em ambiente empresarial, mais concretamente numa indústria fabricante de peças de plástico decorativas essencialmente comercializadas para a indústria automóvel. O objetivo pretendido foi a análise e propostas de soluções para os problemas identificados num dos armazéns. Para tal, tornou-se essencial participação ativa e a colaboração entre o investigador e membros/colaboradores da empresa. Considerando que o projeto foi desenvolvido em ambiente empresarial, recorrendo ao mapeamento dos processos com o objetivo de serem melhorados, recolha e análise de dados e participação ativa entre o investigador e os colaboradores, foi utilizada como metodologia de investigação a Investigação-Ação. Segundo (Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. Journal of social issues, 2(4), 34-46.) este tipo de metodologia enfatiza a colaboração entre o investigador e outro tipo de participantes, procurando assim a solução de problemas reais através da junção entre o processo de investigação e a posteriori implementação de ações praticas. É possível resumir as principais fases associadas a esta metodologia que servirão como base para a elaboração deste projeto Rory O'Brien, (1998). Esta metodologia possui 5 fases apresentadas na figura 3.

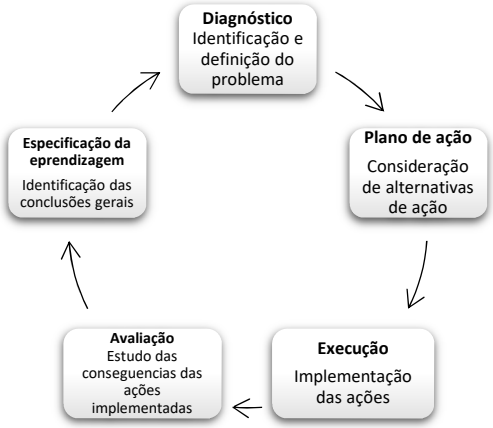


Figura 3. Identificação das fases da metodologia Investigação - Ação. Fonte: Rory O'Brien, (1998)

4. Descrição e Análise Crítica

Este estudo foi desenvolvido na empresa Doureca – Produtos Plásticos, Lda, localizada em Paredes de Coura, Portugal, parte do grupo francês Dourdin Decorative Solutions SA. Fundada há mais de 35 anos, a Doureca especializa-se na produção de peças plásticas decorativas para a indústria automóvel, trabalhando com marcas como Bosch, Mercedes, PSA, Renault, Volvo e Jaguar. A empresa possui duas unidades: a Unidade I, em Cossourado, focada em montagem, embalamento, revisão, pintura e expedição; e a Unidade II, em Formariz, dedicada à cromagem, pintura e expedição. A sua principal matéria-prima é o ABS e ABS+PC, injetado em moldes para criar peças decorativas. Com 280 colaboradores e um volume de negócios de 25 milhões de euros no ano de 2023, a Doureca investe constantemente em tecnologia e melhoria contínua. O projeto foi desenvolvido ao longo de 11 meses no armazém da Unidade I, com apoio de várias áreas da empresa, permitindo uma visão abrangente do ambiente de trabalho.

4.1. Diagnóstico

Com o constante crescimento de projetos e aquisição de novos clientes a empresa encontra-se numa fase onde em termos de espaço em armazém para a realização de atividades como o picking torna-se um desafio ter o espaço disponível para a realização dessa atividade. Neste momento, o espeço atribuído para a colocação dos pedidos para expedição já não é o suficiente para armazenar todo o material que se encontra nessa fase de expedição o que leva a que seja necessário a utilização dos corredores do armazém para essa função.
Assim para perceber quais as principais causas alinhadas a este problema foi realizado o seguinte Diagrama de Ishikawa exemplificado na figura 4.

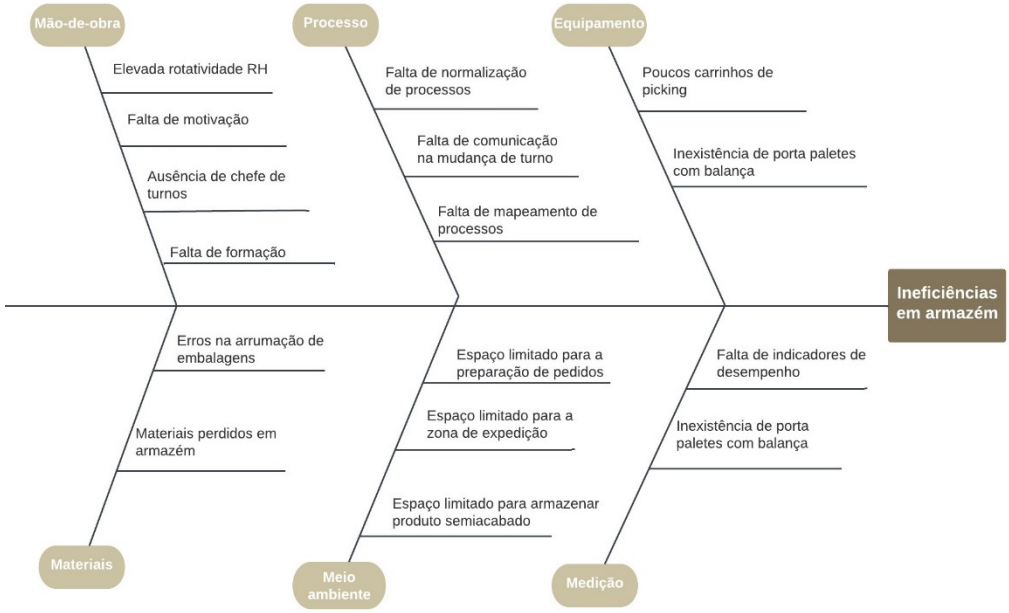
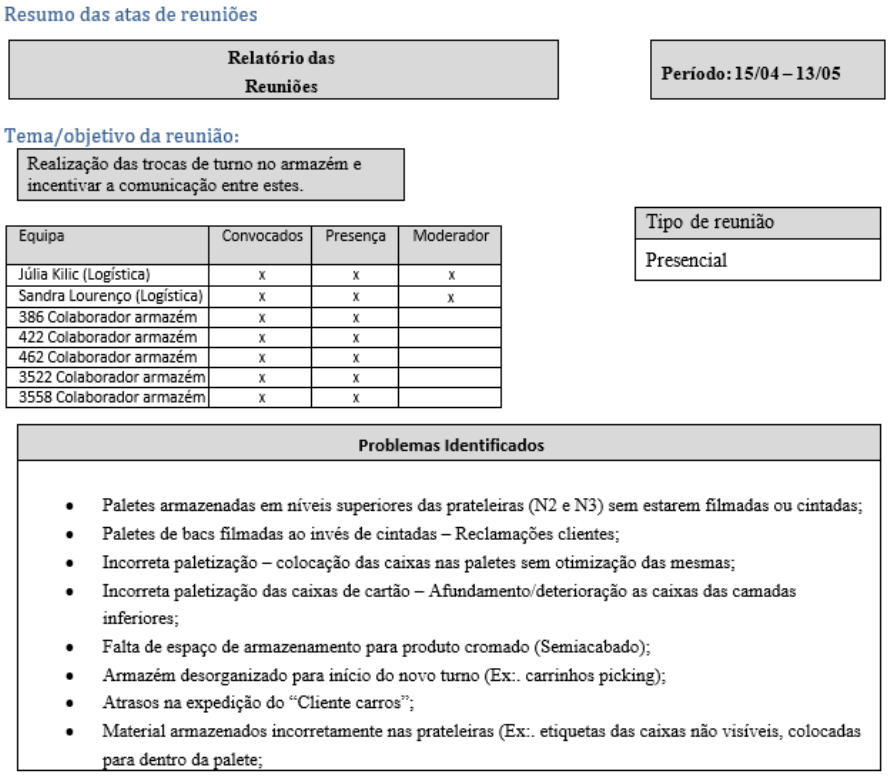


Figura 4: Identificação do diagrama com as principais ineficiências identificadas em armazém. Fonte: Elaboração própria.

O diagrama anterior representa um resumo dos principais problemas que podem ser analisados em armazém e, portanto, resultado de ineficiências neste local.

Ao nível da mão-de-obra algo que se torna muito visível é a elevada rotatividade dos Recursos humanos o que leva a que seja difícil algum trabalhador se tornar experiente nas funções lá realizadas. Existem apenas 3 operadores que são os que estão naquela função há mais tempo. Esta questão traduz-se também numa falta de motivação tanto para os operadores que se encontram la a mais tempo como os que são colocados. Por outro lado, a ausência de um chefe de turno é um fator que prejudica imenso o trabalho em equipa, uma vez que, os trabalhadores acabam por realizar as tarefas da forma que cada um considera a mais adequada, sem que exista um procedimento comum para todos. Associado a este fator acontecem também muitos conflitos entre os operadores que se encontram a mais tempo na funções, pois torna-se difícil aceitar muitas vezes a opinião de colegas porque ambos estão no cargo há muito tempo. Ao nível dos processos é evidente a falta de normalização de processos os quais não se encontram documentados ou desatualizados, ou por vezes os operários não sabem onde encontrá-los. A falta de comunicação entre turnos é outro dos grandes problemas que cria muitas confusões e falhas/erros nas expedições e tarefas que devem ser feitas no fim de cada turno que acabam por não ser sempre realizadas para que o turno seguinte consiga arrancar. E por fim, o mapeamento dos processos poderia ser algo mais visível e feito através de diagramas e não só por escrito. De seguida, no que toca aos equipamentos podemos salientar a falta de poucos carrinhos de picking e a inexistência de porta paletes com balança incorporada. Já aconteceu de a balança utilizada no armazém para realizar a pesagem das paletes avariar e a existência de um porta paletes com balança incorporada poderia ter ajudado na realização da expedição das paletes. Seguidamente, ao nível dos armazéns é possível observar várias causas para o problema de ineficiência, nomeadamente, o erro na receção de produto semiacabado que é armazenado nas prateleiras e não fica registado no sistema a localização atribuída ao mesmo, resultando isto em produtos que acabam por se perder dentro de armazém, prejudicando-se assim a produção e atrasando os trabalhos das secções de pintura, montagem, entre outras. Outro erro muito comum é a errada arrumação das caixas de produto final nas prateleiras onde a etiqueta que identifica o produto armazenado muitas vezes não é colocada para fora, prejudicando depois na hora do picking, pois existem localizações que armazenam várias referências. Em quinto lugar, podemos salientar as limitações ao nível de espaço na realização de várias operações, por exemplo, a preparação de encomendas e local de expedição, bem como para armazenar produtos semiacabados provenientes da fábrica de Formariz que posteriormente ainda tem de sofrer alterações na unidade de Cossourado. Por fim, ao nível da medição podemos identificar a falta de indicadores de desempenho.

Com o objetivo de perceber quais os principais problemas identificados pelos operadores foram realizadas um conjunto de reuniões nas mudanças de turno entre o turno da manhã e o turno da tarde do armazém e logística, através das quais foi possível identificar um conjunto de problemas, coincidentes com os mencionados já anteriormente entre outros. Na figura 5 é possível observar um exemplo de uma ata de reunião que envolve um intervalo temporal de aproximadamente 1 mês.



Resumo das atas de reuniões

Relatório das Reuniões

Período: 15/04 – 13/05

Tema/objetivo da reunião:

Realização das trocas de turno no armazém e incentivar a comunicação entre estes.

Tipo de reunião
Presencial

Equipa	Convocados	Presença	Moderador
Júlia Kilic (Logística)	x	x	x
Sandra Lourenço (Logística)	x	x	x
386 Colaborador armazém	x	x	
422 Colaborador armazém	x	x	
462 Colaborador armazém	x	x	
3522 Colaborador armazém	x	x	
3558 Colaborador armazém	x	x	

Problemas Identificados

- Paletes armazenadas em níveis superiores das prateleiras (N2 e N3) sem estarem filmadas ou cintadas;
- Paletes de bacs filmadas ao invés de cintadas – Reclamações clientes;
- Incorreta paletização – colocação das caixas nas paletes sem otimização das mesmas;
- Incorreta paletização das caixas de cartão – Afundamento/deterioração as caixas das camadas inferiores;
- Falta de espaço de armazenamento para produto cromado (Semiacabado);
- Armazém desorganizado para início do novo turno (Ex:. carrinhos picking);
- Atrasos na expedição do "Cliente carros";
- Material armazenados incorretamente nas prateleiras (Ex:. etiquetas das caixas não visíveis, colocadas para dentro da palete;

Figura 5 - Resumo das atas de reuniões das trocas de turnos do armazém. Fonte: Elaboração própria.

De entre todos os problemas identificados através das reuniões realizadas com os operadores, todos os problemas já tinham sido identificados numa fase inicial, no entanto, existe um problema identificado que foi considerados importante a resolução do mesmo por afetar o desenvolvimento de outras atividades em armazém e por resultar no atraso de outras expedições e criação de um bloqueio no cais de carga do armazém, bem como criação de um congestionamento de camiões durante períodos entre 2h-5h . Por isso, foi um problema considerado grave e com urgência de resolução. Assim, foi considerado essencial a aplicação da ferramenta 5W2H para realizar uma análise mais aprofundada sobre o problema, e, posteriormente, definir um plano de ação, tendo por objetivo a resolução deste problema. Para a análise do problema e definição de plano de ações tendo por base este problema identificado será usada a ferramenta 5W2H, portanto, usada em duas vertentes.
Este problema é os **"Atrasos na expedição do Cliente Carros"**, por questões de confidencialidade não foi permitido a divulgação do cliente em questão. Na tabela 1 podemos observar a aplicação da ferramenta 5H2W a este problema.

Tabela 1 - Ferramenta 5W2H na análise do problema "Atrasos na expedição do Cliente Carros". Fonte: Elaboração própria.

5W	O quê?	- Atrasos frequentes na expedição dos pedidos do Cliente Carros.
	Porquê?	- Produtos não disponíveis pela produção/muro de qualidade a tempo da expedição. - Falta de sincronização entre setores, armazém e produção. - Ausência de stock de segurança para a maioria das referências. - Grande volume expedido para o mesmo cliente, a necessidade não é dividida por mais do que um dia por semana.
	Onde?	- Entre a produção e o armazém (área de expedição).
	Quando?	- Sexta-feira de todas as semanas é o único dia possível para a expedição para o Cliente Carros.
	Quem?	- O Cliente Carros, se existirem erros de expedição e pedidos em atraso. - A empresa fornecedora que é obrigada a fazer transportes urgentes, custos suportados pelo fornecedor. - Equipa de Logística e Qualidade – Reclamações. - Transportadora – Elevados tempos de espera.
2H	Como?	- Reduz a satisfação do cliente e o índice de performance da empresa fornecedora. - Aumento de custos com transportes urgentes. - Aumento da carga de trabalho do armazém e equipa logística.
	Quanto?	- Custos extras com transportes urgentes e dedicados para enviar os atrasos, que são suportados pelo fornecedor. Estes custos podem variar entre 200€ e 700€. - redução da confiança do cliente, podendo resultar em perdas futuras de faturação.

No próximo subcapítulo será realizado um plano de ações através desta mesma ferramenta proposto para o problema identificado.

4.2. Propostas de Melhoria

Com base nas análises realizadas e nos problemas identificados na seção anterior, a seguir são propostas melhorias para otimizar a eficiência operacional em armazém.

Para todos os problemas identificados, serão sugeridas soluções de melhoria através da aplicação de ferramentas Lean associadas à metodologia dos 5S. Estas soluções visam reorganizar e otimizar os processos operacionais, reduzindo desperdícios, melhorando a eficiência e criando um ambiente de trabalho mais produtivo e organizado.

Como sugestão de melhoria, com base na metodologia 5S, foram aplicadas diversas ferramentas Lean.
Para o 1ºS (Seiri - Separar), foi realizada uma análise ABC com o objetivo de identificar a percentagem de produto semiacabado armazenado no armazém, que atualmente não tem local adequado e acaba por ficar nos corredores. Este produto semiacabado, proveniente da unidade de Formariz, é posteriormente enviado para a unidade de Cossourado, onde passa pelos processos finais de pintura e embalamento antes de ser considerado produto acabado, no entanto, antes de passar por estes processos de acabamento/embalamento tem de ser temporariamente armazenado, não existindo espaço acaba por ficar nos corredores, dificultando a movimentação dos empilhadores (Figura 6). Para o 2ºS (Seiton - Organizar), foi desenvolvido um documento a ser utilizado nas mudanças de turno, no qual o turno da manhã regista as tarefas concluídas, as que estão em andamento e as pendentes, facilitando a comunicação e a continuidade das atividades. No 3ºS (Seiso - Limpar), identificaram-se itens no armazém que já não são utilizados, como caixas de cartão que foram substituídas por outras com tamanhos mais adequados, otimizando assim atividades como a arrumação em armazém, a paletização e o transporte. Com o 4ºS (Seiketsu - Padronizar), propôs-se o desenvolvimento de instruções de trabalho para tarefas do armazém que ainda não estavam documentadas, além da modelação dos processos básicos com a ferramenta BPMN, para que os novos colaboradores compreendam melhor os procedimentos. Finalmente, com a aplicação do 5ºS (Shitsuke - Disciplina), serão programadas auditorias periódicas para monitorar e avaliar as melhorias obtidas com a aplicação das propostas, garantindo a manutenção dos padrões estabelecidos.

Conforme descrito anteriormente as propostas de melhoria foram realizadas tendo em conta a metodologia dos 5S e serão apresentadas em seguida.

Aplicação da ferramenta da classificação ABC – 1ºS (Seiri – Classificação)

Um dos principais problemas que a empresa enfrenta é a falta de espaço para armazenar matérias-primas como as paletes de cartões que são utilizados para a produção dos gabarit que posteriormente são colocados nas peças finais e a falta de lugar para armazenar as peças cromadas provenientes da unidade de Formariz que representam produto semiacabado que, posteriormente, terá de sofrer diversos processos finais, nomeadamente, de pintura e colocação de gabarit e mousse.

Na Figura 6 é possível observar imagens dos corredores do armazém que se encontram obstruídos por estes materiais, situação esta que bloqueia a movimentação de empilhadores e mesmo porta-paletes.



Figura 6 - Obstrução de corredores com produto semiacabado e matérias-primas (cartão utilizado nos gabarit)

Existem prateleiras no armazém que neste momento que encontram ocupadas com materiais de embalamento, por exemplo caixas de cartão que neste momento já não são utilizadas e encontram-se armazenadas à mais de 5 anos, sem terem qualquer tipo de uso.

Assim, para conseguir distinguir e identificar a percentagem de movimentação (saídas) dos produtos armazenados foi realizada uma análise ABC. Nesta análise ABC foram contabilizadas um total de 17960433 movimentações, para um total de 1236 artigos/referências. Para a realização deste estudo foram utilizados dados do número de movimentação dos materiais armazenados em armazém, tendo em conta um espaço temporal de 1 ano, nomeadamente, todas as movimentações do ano de 2023. Estes dados foram agrupados por tipo/classe de produto para ser mais simples a classificação, no entanto, o objetivo para um estudo futuro será desagrupar e classificar todos os 1236 artigos individualmente. Com este estudo o objetivo será a projeção de um novo layout.

Na tabela 2 temos a realização da análise ABC por classe de produto, e na figura 7 a representação da curva ABC.

Tabela 2 - Análise ABC por classe de produto. Fonte: Elaboração Própria.

TIPO/CLASSE DE PRODUTO	NÚMERO DE MOVIMENTAÇÕES	ACUMULADOS	PERCENTAGEM	CATEGORIZAÇÃO
Produto Final	15308534	15308534	0,852347713	A
Peça Plástica	2225322	17533856	0,976249069	B
Peça Cromada	374536	17908392	0,997102464	C
Mousses e Cartão	52041	17960433	1	C
Total	17960433			

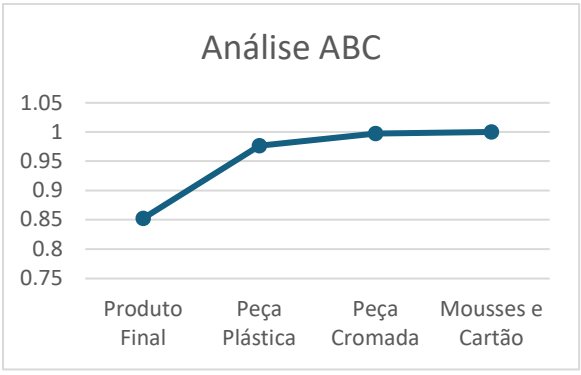


Figura 7 – Curva ABC

Através desta análise conseguimos perceber que cerca de 15% dos produtos movimentados no ano de 2023 não pertenciam a produtos finais, ou seja, torna-se necessário que para estes artigos também exista uma zona de armazenamento própria e que os corredores deixem de estar obstruídos com estes materiais. Conforme mencionado anteriormente existem caixas de cartão armazenadas a um longo intervalo de tempo e que já não têm uso, sendo por isso artigos obsoletos e que deveriam ser retirados para dar lugar à arrumação de matérias que sim têm rotatividade.

Aplicação da ferramenta Kanban – 2ºS (Seiton – Ordenação)

A aplicação desta ferramenta foi realizada e foi útil na criação de um modelo de um quadro de planeamento de tarefas, com o objetivo de melhorar a comunicação entre os turnos do armazém.
Este quadro é composto por três colunas para que sejam identificadas nas mesmas quais as tarefas que ficaram por realizar na transição de turno, as tarefas que ficaram em andamento e por fim as tarefas terminadas. As tarefas em andamento, ou seja, já começadas e as tarefas terminadas obrigatoriamente deverão ter indicado na coluna atrás qual o operador do armazém realizou cada uma delas.

A figura 8 representa o esquema desse quadro em que, posteriormente, o objetivo será a criação de um quadro branco para colocar em armazém.

doureca DECORATIVE SOLUTIONS	Planeamento de tarefas	Secção: Armazém
Data:		Turno:

Tarefas por realizar	Op. Arm.	Tarefas em andamento	Op. Arm.	Tarefas terminadas
Observações				

Figura 8 - Planeamento de tarefas por tunos do armazém. Fonte: Elaboração própria.

Identificação de obsoletos – 3ºS (Seiso – Limpeza)

Eliminação de tudo que são artigos ou matérias-primas que já não são utilizadas há mais de 5 anos, conforme mencionado anteriormente existem artigos que se encontra parados em armazém há muito tempo.

Realização de instruções de trabalho – 4ºS (Seiketsu – Padronização)

Num cenário inicial foi possível observar que a equipa de armazém já possuía instruções de trabalho de processos nas tarefas do dia a dia, no entanto, ficou explicito que não existe muita iniciativa dos operários de usarem essas instruções. Por isso, um dos objetivos tem sido incentivar a utilização das mesmas e fazê-lo principalmente com os funcionários que entram novos. É igualmente importante ouvir sugestões dos operadores para realizar melhorias necessárias nas instruções de trabalho. Além disso, foram também realizadas mais instruções de trabalho de operações que não estavam documentadas.
Na figura 9 é possível observar um exemplo de uma instrução de trabalho realizada, com os passos necessários para no ERP da empresa os operários do armazém conseguirem alterar a gama de embalagem, quando por exemplo uma referência que é enviada em embalagem retornável (Bac) é enviada em caixa de cartão, entre outros procedimentos que não se encontravam documentados.

Acompanhamento e Auditorias – 5ºS (Shitsuke – Disciplina)

Para a implementação do Shitsuke - Disciplina, serão realizadas auditorias regulares e estabelecido um sistema de acompanhamento constante para garantir que as práticas implementadas nos 4S anteriores sejam mantidas e melhoradas de forma contínua. Estas auditorias irão avaliar o cumprimento dos padrões estabelecidos, identificar oportunidades de melhoria e corrigir eventuais desvios. Além disso, será promovida a disciplina entre os colaboradores, com treinamentos periódicos e revisões de procedimentos, de forma a consolidar a cultura de organização e eficiência no ambiente de trabalho, assegurando que os benefícios obtidos sejam sustentáveis a longo prazo.

Plano de ações do problema "Atrasos na expedição do Cliente Carros".

Na Tabela 3 encontramos o plano de ações proposto para a resolução do problema acima identificado.

Tabela 3 - Plano de ações para o problema "Atrasos na expedição do Cliente Carros". Fonte: Elaboração própria.

5W	O quê?	Reorganizar a operação de expedição e sincronizar melhor o stock com os pedidos.
	Porquê?	A falta de organização, comunicação e falta de stocks de segurança.
	Onde?	Área de expedição sincronizada com a produção e logística.
	Quando?	Implementar as mudanças antes do próximo pico de pedidos (entre abril e junho).
	Quem?	A equipa de armazém, logística e produção.
2H	Como?	Melhorar a comunicação entre os setores, revisar processos de picking e expedição e produção antecipada para evitar atrasos.
	Quanto?	O custo da implementação deste plano de ações pode ser compensado com a redução de transportes urgentes para enviar atrasos, redução do retrabalho nas peças e maior satisfação do cliente.

5. Resultados Esperados e Discussão

Com a aplicação dos 5S no armazém, os resultados esperados incluem uma melhoria significativa na organização, eficiência e segurança. O primeiro S (Seiri), ao separar e eliminar materiais desnecessários, reduzirá o desperdício e otimizará o espaço disponível, permitindo um fluxo de trabalho mais ágil. O segundo S (Seiton), ao organizar as tarefas de forma logica e acessível, irá minimizar a falta de comunicação entre os turnos e melhorar a produtividade. O terceiro S (Seiso) garantirá um ambiente limpo, reduzindo o risco de acidentes e aumentar a produtividade. O quarto S (Seiketsu), ao padronizar processos, permitirá uma maior consistência nas operações, minimizando variações e erros. Finalmente, o quinto S (Shitsuke) promoverá uma cultura de disciplina, assegurando a manutenção das práticas implementadas através de auditorias regulares e acompanhamento contínuo. No geral, espera-se uma redução dos tempos de expedição, melhoria na qualidade operacional, uma otimização dos recursos disponíveis e melhoria da comunicação interna.

6. Conclusões

Em conclusão, o estudo demonstrou que a aplicação da metodologia 5S no armazém da empresa é fundamental para resolver os desafios de espaço e eficiência identificados. Através do primeiro S (Seiri), a análise ABC permitiu identificar e eliminar materiais desnecessários, melhorando o uso do espaço e eliminando obstruções nos corredores. O segundo S (Seiton) introduziu um quadro de planeamento para facilitar a comunicação entre turnos e assegurar uma maior organização das tarefas. O terceiro S (Seiso) focou-se na eliminação de itens obsoletos, como caixas de cartão desatualizadas, para otimizar o espaço e os processos de armazenamento. O quarto S (Seiketsu) propôs a padronização das tarefas do armazém, documentando instruções de trabalho essenciais para garantir consistência e eficiência nas operações. Finalmente, o quinto S (Shitsuke) implementará auditorias regulares e acompanhamento constante para assegurar a manutenção das melhorias e o cumprimento dos novos padrões estabelecidos.
Com essas intervenções, espera-se um aumento da eficiência operacional, uma melhor utilização do espaço, redução de atrasos nas expedições e um ambiente de trabalho mais seguro e organizado. A aplicação dos 5S visa, a longo prazo, consolidar uma cultura de melhoria contínua, promovendo a sustentabilidade e a competitividade da empresa.

Referências

Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, *193*(2), 425–436. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045

Carvalho, J. C. de, Guedes, A. P., Arantes, A. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., & Dias, E. B. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (Edições Sílabo (ed.)).

Council of Supply Chain Management Professionals. (2024). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx

de Jesus Pacheco, D. A., Møller Clausen, D., & Bumann, J. (2023). A multi-method approach for reducing operational wastes in distribution warehouses. *International Journal of Production Economics*, *256*, 108705. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108705

Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1061–1068. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.217

Fierro, L. H., Cano, R. E., & García, J. I. (2020). Modelling of a multi-agent supply chain management system using Colored Petri Nets. *Procedia Manufacturing*, *42*, 288–295. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.095

Gomes, J. C. C. (2016). *Melhoria dos Processos de Gestão do Armazém Spare Parts & Materiais Indiretos* [Instituto Superior de Engenharia do Porto]. http://hdl.handle.net/10400.22/11017

John J. Bartholdi & Steven T. Hackman. (2019). *WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE Release 0.98.1*. The Supply Chain & Logistics Institute. www.warehouse-science.com

Martins, R., Pereira, M. T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2020). Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory. *Procedia Manufacturing*, *51*, 1723–1729. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.240

Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research and Design*, *83*(6), 662–673. https://doi.org/10.1205/cherd.04351

Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C. (2018). Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *Procedia Manufacturing*, *17*, 696–704. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.119

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: beyond large-scale production.*

Pereira, M. T., Sousa, J. M. C., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2019). Localization System for Optimization of Picking in a Manual Warehouse. *Procedia Manufacturing*, *38*, 1220–1227. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.213

Pinto, V. F. A. (2021). *Melhoria contínua na gestão de armazéns: o caso da Roca, S.A.* [Instituto Politécnico de Coimbra]. http://hdl.handle.net/10400.26/40375

Rory O'Brien. (1998). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research* [University of Toronto]. http://www.web.ca/~robrien/papers/arfinal.html

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(11), 1148–1148. https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production.* (Rawson Ass).

ID16
Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Ergonomia de Produção

L. S.S. Sardinha ([1]), S. S. Sousa ([1]), J. O. V. Baleiras ([1]), T.M. Lima ([1,2]), P.D. Gaspar ([1,2])
laura.sardinha@ubi.pt, sofia.s.sousa@ubi.pt, joana.valente.baleiras@ubi.pt, tmlima@ubi.pt, dinis@ubi.pt

([1]) Departamento de Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Portugal
([2]) C-MAST- Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, Portugal

Resumo

A ergonomia foca a sua atenção na melhoria do desenvolvimento da saúde física e mental do ser humano, com o intuito de lhe proporcionar um ambiente seguro e confortável, melhorando, por sua vez, a eficiência do seu trabalho. Este artigo apresenta um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a melhoria da ergonomia de produção, com base em ferramentas de avaliação ergonómica como o OWAS, NIOSH e REBA para avaliar as posturas corporais dos operadores durante o seu período laboral. Pelo cálculo destes parâmetros de avaliação, o SAD alerta para o risco ergonómico, através da introdução dos dados relativos às posturas definidas.
O objetivo do caso de estudo apresentado é a avaliação do risco ergonómico no setor da Construção Civil. Foram escolhidas três posturas, as posturas X, Y e Z, estando a primeira postura relacionada com a elevação de uma carga acima dos ombros, a segunda tem o intuito de representar o movimento de agachamento do trabalhador e a terceira postura retrata o acoplamento de uma ferramenta, na mão direita, seguida da rotação do braço para colocar a argamassa na parede. De modo a validar o sistema desenvolvido e os resultados obtidos, o mesmo foi testado para as três posturas anteriormente referidas.
Devido a valores de OWAS e NIOSH mais elevados, uma determinada postura foi considerada crítica, postura X, sendo por isso necessário a implementação de medidas corretivas, de modo a melhorar a saúde, segurança e qualidade de vida dos trabalhadores da Construção Civil. O SAD desenvolvido é passível de ser escalado para outras posturas, assim como para avaliação ergonómica noutras tipologias de trabalho.

Palavras-Chave: Ergonomia, OWAS, NIOSH, REBA, Lesões musculoesqueléticas, Sistema de Apoio à Decisão

1. Introdução

A ergonomia é a ciência que foca a sua atenção na melhoria do desenvolvimento da saúde física e mental do ser humano, tendo o objetivo de lhe proporcionar um ambiente seguro, confortável e saudável, melhorando, por conseguinte, a eficiência do seu trabalho. À ergonomia, estão associadas outras ciências como a psicologia, sociologia, fisiologia, anatomia, entre outras. Em termos industriais, a ergonomia tem sido utilizada para prevenir as lesões de trabalho e aumentar a segurança dos trabalhadores (Zhang et al., 2023). No entanto, é de ter em conta que as alterações feitas com o objetivo de melhorar a ergonomia dos operadores não lhes devem causar qualquer tipo de transtorno, como o stress relacionado com a interação com sistemas e robôs (Gualtieri et al., 2021).

Existem vários fatores que podem influenciar negativamente a ergonomia dos trabalhadores, sendo alguns deles os fatores físicos, demográficos e psicossociais (Murtoja Shaikh et al., 2022). No que diz respeito aos fatores físicos, estes são caracterizados pelas vibrações transmitidas a todo o corpo, posturas incorretas, movimentos de trabalho repetitivos, aplicação constante de cargas e trabalho constante de força (Murtoja Shaikh et al., 2022). Passando para os fatores demográficos, estes também têm uma grande influência na qualidade do trabalho efetuado. A idade, IMC, sexo, hábitos alimentares, diagnósticos médicos anteriores ou vícios (como o tabagismo e o alcoolismo) interferem significativamente na vida pessoal e profissional do Homem (Mostafa, 2023; Murtoja Shaikh et al., 2022). Fatores como o stress, ansiedade, *burnout* ou depressão também são identificados como adversidades na realização correta do trabalho solicitado. Assim, os fatores referidos são apenas alguns exemplos de fatores psicossociais que podem afetar os trabalhadores (Murtoja Shaikh et al., 2022).

Trabalhos com uma alta intervenção da força humana requerem uma elevada monitorização do risco ergonómico para os operadores. Um desses casos, é o setor da Construção Civil, que está diretamente dependente do esforço humano, sendo, por conseguinte, uma indústria altamente perigosa e com um elevado número de relatórios a identificar falecimentos e lesões (Oyekan et al., 2021; Zong et al., 2024). Devido às duras tarefas que os trabalhadores da construção executam e às posturas desconfortáveis em que trabalham durante longas horas, estes

têm uma grande probabilidade de vir a desenvolver, futuramente, lesões musculosqueléticas e/ou outros problemas de saúde (Zong et al., 2024).

Em 2020, segundo o Eurostat, na União Europeia, a indústria da construção era responsável por cerca de um quinto das mortes no trabalho e, de acordo com a *European Agency for Safety and Health at Work* (EU-OSHA) foram diagnosticadas lesões musculosqueléticas em, aproximadamente, 50% dos trabalhadores europeus no ramo da construção (Zong et al., 2024).

Analisando os dados disponíveis no PORDATA, é possível perceber que entre 2011 e 2021 a produtividade aparente do trabalho no ramo da construção, ou seja, a riqueza criada em média, aumentou 3562,85€ (a produtividade aparente do trabalho no ramo da construção em 2011 e 2021 foi de 21018,81€ e de 24581,66€, respetivamente), tendo atingido o seu máximo em 2020, com um total de 25000,96€ (PORDATA - Estatísticas Sobre Portugal e Europa, 2023b). No que diz respeito ao emprego a tempo completo gerado por este setor, entre 2011 e 2021, houve um decréscimo de 52,03 mil empregos (o emprego, a tempo inteiro, criado pelo setor da construção em 2011 e 2021, foi de 402,70 e 350,67 mil, respetivamente). Em 2014, atingiu-se o valor mínimo deste intervalo de tempo (272,49 mil), tendo este valor vindo a aumentar, gradualmente, até ao ano de 2021 (PORDATA - Estatísticas Sobre Portugal e Europa, 2023a). Para além disto, considera-se significativo referir que, apesar da crise imobiliária atual, o Instituto Nacional de Estatística – INE, avançou que a produção na construção cresceu 4,7% no passado mês de fevereiro, 0,2 pontos percentuais abaixo do mês anterior, e que a variação homóloga (mede a alteração de um indicador face ao valor deste, no mesmo período do ano anterior (Zong et al., 2024)) do índice de remunerações aumentou 11%, 0,9% acima de janeiro (INE, 2024).

O sistema de apoio à decisão tem como objetivo principal permitir que a gestão de topo perceba quais são as posturas que mais prejudicam o trabalhador, através de um código de cores. Para tal, no sistema são determinados três indicadores de avaliação da ergonomia das posturas dos trabalhadores (REBA, NIOSH e OWAS), escolhidos depois de uma análise profunda aos indicadores mais utilizados.

2. Definição do Caso de Estudo

O caso de estudo apresentado tem como objetivo a avaliação do risco ergonómico no local de trabalho, mais especificamente, no setor da Construção Civil. Esta avaliação vai ter como base a utilização de algumas ferramentas ergonómicas que avaliam as posturas corporais dos trabalhadores, como é o caso do NIOSH, REBA e OWAS, especificadas na metodologia.

A área em que o caso de estudo se enquadra, é o setor da Construção Civil. Segundo as estatísticas disponibilizadas pela ACT, Autoridade para as Condições do Trabalho, acerca do número de inquéritos e acidentes de trabalho graves, a área da Construção Civil é o setor de atividade com maior índice, com cerca de 684 inquéritos. Todas estas estatísticas estão divididas por categorias, por estado, se os inquéritos estão concluídos ou em averiguação, mês e dia da semana, distrito, faixa etária, setor de atividade, entre outros. Para que a escolha do setor em estudo fosse mais intuitiva, utilizaram-se as estatísticas referentes ao setor de atividade, desde 2020 até ao ano atual (ACT, 2024).

Atualmente, o risco de lesões musculoesqueléticas atinge a maior parte dos trabalhadores do setor da Construção, sendo consideradas um dos maiores problemas da Saúde Ocupacional, de acordo com a *European Agency for Safety and Health at Work* (EU-OSHA) (Zong et al., 2024). Este tipo de lesões pode afetar músculos, ligamentos, tendões e nervos do corpo humano, podendo ser intensificados devido aos esforços e posturas inadequadas dos trabalhadores (Çakıt & Karwowski, 2024).

Apesar de serem utilizados alguns dados da ACT que, também apresenta inquéritos onde constam o número de acidentes referentes às diferentes partes do corpo afetadas durante a execução das tarefas neste setor, recorreu-se à base de dados científica *Science Direct*, com vista a definir quais as partes do corpo a ser analisadas neste caso de estudo.

A maior parte das lesões encontradas nos trabalhadores das indústrias, nomeadamente da Construção Civil, estão relacionadas com o levantamento e transporte de cargas, movimentos repetitivos e o manuseamento inadequado de ferramentas, do ponto de vista ergonómico. Estas atividades causam principalmente lesões na lombar, atingindo entre 50-70% dos trabalhadores, sendo que este tipo de lesões nas costas, afetam mais de um quarto dos trabalhadores que operam em ambientes de trabalho, com atividades manuais (Kodle et al., 2023; Ogedengbe et al., 2023; Oyekan et al., 2021). Todas estas lesões podem acarretar não só futuros problemas na saúde nos trabalhadores, como a produtividade e competitividade das organizações (Ogedengbe et al., 2023; Rodrigues et

al., 2020). As LME são consideradas um problema tanto de natureza individual, como social e organizacional (Rodrigues et al., 2020).

Uma vez que as LME são um fator primordial na luta contra as doenças profissionais, é extremamente importante que as condições de trabalho sejam as melhores, através da adoção de posturas mais adequadas na realização das tarefas, melhorando a saúde, segurança e qualidade de vida dos trabalhadores (Rodrigues et al., 2020). Desta forma, este caso de estudo irá basear-se, em três posturas frequentemente adotadas pelos trabalhadores do setor da Construção Civil, através da utilização das ferramentas de avaliação de risco ergonómico. Assim, ao longo do seu desenvolvimento serão avaliadas certas partes do corpo (tronco, pescoço, pernas, braço, antebraço e pulso), a fim de que seja possível calcular todos os indicadores propostos.

3. Metodologia

Tendo em conta a pertinência do caso de estudo apresentado anteriormente e as consequências negativas consequentes da adoção de uma postura incorreta aquando realização de tarefas de construção, neste capítulo serão apresentados alguns indicadores previamente ponderados – OWAS, NIOSH e REBA - com o intuito de avaliar o risco ergonómico adjacente a estas posturas.

Esta ponderação, surge da avaliação do conjunto de ferramentas que são comumente utilizadas para avaliação do risco ergonómico (NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health* (Kavus et al., 2023), OWAS - *Ovako work posture analysis System* (Zhang & Lin, 2023), e REBA - *Rapid entire body Assessment* (Zhang & Lin, 2023) em várias tarefas laborais e avaliação de diferentes partes do corpo humano. Contudo, a avaliação do risco ergonómico não é algo linear, uma vez que diferentes pessoas podem realizar diferentes interpretações da mesma posição e do perigo que esta representa (Kavus et al., 2023). Além disso, nem todas as ferramentas conseguem incluir todas as partes do corpo, limitando a avaliação de outros fatores de risco presentes nos ambientes de trabalho, além de que a sua implementação é frequentemente dispendiosa e difícil de realizar (Kavus et al., 2023). Ademais, as avaliações que normalmente são realizadas nem sempre têm em consideração as dimensões do corpo do indivíduo que realiza a tarefa, nem as suas capacidades físicas ou até algo tão básico como a sua idade (Kavus et al., 2023). Neste sentido, é apresentado um sistema de apoio à decisão para auxiliar na avaliação da ergonomia de produção, sendo usados, neste caso, dados relativos ao setor da construção civil.

4. Formulação

Com vista a pôr em prática os indicadores apresentados anteriormente (OWAS, NIOSH e REBA), para cálculo do risco ergonómico subjacente de algumas posturas frequentemente adotadas no setor da Construção Civil pelos trabalhadores, foi construído um Sistema de Apoio à Decisão para a Melhoria da Ergonomia de Produção. Este Sistema de Apoio à Decisão consiste no cálculo e alerta do risco ergonómico, através da introdução de dados ponderados relativos às posturas que são adotadas, tendo sido desenvolvido no programa EXCEL *Microsoft Office*, com o propósito de que a sua implementação na indústria, seja mais intuitiva e clara, dado ser um dos programas mais utilizados em meio industrial.

A determinação do OWAS foi feita tendo em conta a tabela definida por *Louhevaara e Suurnäkki* (Calzavara et al., 2016). Numa primeira fase, começou-se por identificar as variáveis a avaliar e as respetivas pontuações, sendo estas a posição do tronco, dos braços, das pernas e a carga transportada pelo trabalhador. Assim, e de acordo com a postura que o trabalhador executar no decorrer da sua função, são preenchidos os valores para o tronco, braços, pernas e carga, na Tabela 1. Com esta informação, o sistema de apoio à decisão irá determinar o nível de risco associado à postura em questão e identificar a sua gravidade, através de um sistema de cores. Na Tabela 2, está representada a associação dos valores possíveis para o OWAS com o nível de risco ergonómico, com o respetivo código de cores.

Tabela 1 - Tabela de Determinação do OWAS

AVALIAÇÃO	
Tronco	0
Braços	0
Pernas	0
Carga	0
OWAS	

Tabela 2 - Níveis de Risco Associados ao OWAS

RISCO ASSOCIADO	
OWAS Value	***Nível de Risco***
1	baixo
2	médio
3	alto
4	muito alto

No sistema de apoio à decisão destinado ao cálculo do NIOSH, apenas é necessário inserir os valores associados ao cálculo, tanto para a origem, como para o destino, retirados das tabelas expostas em Ogedengbe et al. (2023). Ou seja, a constante de carga, que se é 23kg, o multiplicador horizontal e vertical, o multiplicador de distância, o multiplicador de assimetria, o multiplicador de assimetria, o multiplicador de acoplamento e o peso real da carga transportada (Kodle et al., 2023; Ogedengbe et al., 2023). Deste modo, o sistema determina o *Lifting Index*, que deve ser inferior a 1,0. Quando o LI se encontra dentro dos limites estabelecidos, a célula em que o mesmo foi calculado fica preenchida a verde. No entanto, quando o LI é superior a 1,0, a célula fica preenchida a vermelho, indicando que a postura executada pelo trabalhador tem um elevado risco ergonómico. Na figura 1, está representado o layout do sistema de apoio à decisão, onde devem ser inseridos os valores das variáveis anteriormente referidas.

	LC		HM		VM		DM		AM		FM		CM	
	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino
Postura X														
Postura Y														
Postura Z														
Postura VAL														

Figura 1 - Sistema de Apoio à Decisão do cálculo do NIOSH

Com esta informação, o sistema de apoio à decisão irá determinar o nível de risco associado à postura em questão e identificar a sua gravidade, através de um sistema de cores. Na Tabela 3, está representada a associação dos valores possíveis para o NIOSH com o nível de risco ergonómico, com o respetivo código de cores, e as ações recomendadas para cada nível de risco.

Tabela 3 - Níveis de Risco do NIOSH e Ações Recomendadas

VALOR DO LI	NÍVEL DE RISCO	AÇÕES RECOMENDADAS
LI ≤ 1,00	Muito baixo	A carga é aceitável para a maioria das pessoas, não sendo necessária nenhuma ação para a população saudável.
1,00 < LI ≤ 1,50	Baixo	A carga deve ser avaliada e devem ser introduzidas alterações a médio prazo. Prestar especial atenção às condições de baixa frequência/elevada carga e às posturas extremas e estáticas.
1,50 < LI ≤ 2,00	Moderado	Reformular as tarefas e os locais de trabalho de acordo com as prioridades de forma a reduzir a LI, fazendo uma análise de resultados para confirmar a eficácia das alterações.
2,00 < LI ≤ 3,00	Elevado	Devem ser introduzidas modificações de curto prazo para reduzir o risco de LME. As tarefas com esta avaliação devem ser redesenhadas ou atribuídas apenas a trabalhadores selecionados que serão controlados rigorosamente.
LI > 3,00	Muito elevado	A carga apresenta um risco para a maioria das pessoas, devendo ser tomadas ações de imediato. Este tipo de tarefa é inaceitável do ponto de vista ergonómico e deve ser modificada.

A realização do sistema de apoio à decisão destinado ao cálculo do REBA, foi desenvolvido com base nos dados e tabelas sugeridos por Hignett & McAtamney (2000) aquando desenvolvimento deste indicador, dividindo-se em três tabelas com adição de alguns elementos fulcrais, relacionados com as posturas escolhidas.

Desta forma, na Figura 2 apresenta-se o layout do sistema de apoio à decisão direcionado para o método REBA, descrito no capítulo anterior, onde foram introduzidas todas as fórmulas de cálculo a fim de que seja possível obter o valor final do indicador em questão.

Os valores relativos ao tronco, pescoço, pernas, braço, antebraço, pulso, fator carga, fator acoplamento e fator atividade, são introduzidos manualmente pelo utilizador, mediante avaliação da postura adotada pelo trabalhador, sendo que diferentes posturas podem resultar em diferentes valores de risco ergonómico.

Ademais, a pontuação A foi obtida através da soma do valor resultante da tabela A com o fator carga, a pontuação B, da soma do valor resultante da tabela B com o fator acoplamento e, a pontuação C da tabela C, utilizando as duas pontuações anteriores. Todos estes valores resultantes da observação das tabelas, são obtidos de forma automática pelo sistema, conforme os valores inseridos para cada componente corporal. Assim, o operador, não necessita de perder tempo a analisar as tabelas, apenas as posturas.

No fim de obtidos os valores, o sistema calcula o valor do REBA final (Pontuação C + atividade) e emite um sinal visual dependendo do risco ergonómico apresentado e do tipo de intervenção necessária.
As cores relativas ao sinal visual emitido, encontram-se na Tabela 4, juntamente com o respetivo nível ergonómico e ação que é necessária implementar.
O mesmo procedimento foi efetuado para as três posturas escolhidas (postura X, Y e Z).

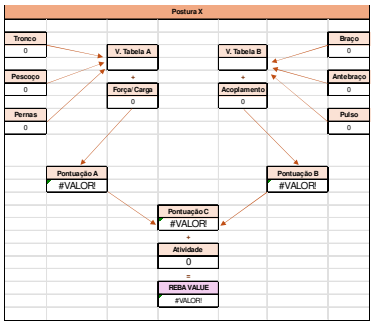


Figura 2 - Sistema de Apoio à Decisão do cálculo do REBA

NÍVEIS DE AÇÃO DO REBA			
REBA VALUE	***NÍVEL DE RISCO***	***NÍVEL DE AÇÃO***	***AÇÃO (APÓS AÇÃO COMPLEMENTAR)***
1	nulo	0	Não necessário
2 a 3	baixo	1	Talvez seja necessário
4 a 7	médio	2	Necessário
8 a 10	alto	3	Necessário muito em breve
11 a 15	muito alto	4	Necessário no momento

Tabela 4 - Níveis de Ação do REBA

4.1. Explicação das Posturas

De forma a ser possível aplicar as ferramentas de avaliação de risco ergonómico definidas, selecionaram-se três posturas tipicamente executadas pelos trabalhadores na indústria da construção. De seguida, será feita uma breve descrição de cada postura para, posteriormente, se avaliar o seu risco ergonómico.

Postura X: A primeira postura representa a elevação de uma carga, acima dos ombros. Assim, o trabalhador encontra-se com uma ligeira inclinação do tronco, com cerca de 20º. Para além disto, os antebraços do trabalhador estão ambos a ser utilizados acima dos ombros, perfazendo um ângulo superior a 100º, e o braço faz um ângulo de 90º com o tronco. Neste caso, pode-se considerar que o pulso do trabalhador está numa posição reta. De forma a facilitar a perceção do descrito anteriormente, foi elaborado um esboço representativo da postura X, apresentado na Figura 3.

Postura Y: Na postura Y, tentou-se representar o agachamento do trabalhador. Nesse sentido, o trabalhador encontra-se com uma ténue inclinação no tronco, com cerca de 10º, com a zona pélvica abaixo do eixo em que costuma estar quando o corpo está de pé, e com ambos os joelhos fletidos. A coxa faz com o tronco um ângulo de 90º e o joelho está dobrado com uma amplitude superior a 60º. Para tornar a compreensão da descrição feita, foi realizado um esboço que representa a postura Y, ilustrado na Figura 3.
Postura Z: A terceira, e última, postura retrata o acoplamento, na mão direita, de uma ferramenta seguido por um movimento rotacional do braço, de forma a colocar a argamassa na parede. O antebraço esquerdo, faz um angulo de 90º com o braço, segurando um recipiente que contém a argamassa. Para além disto, nesta postura, o trabalhador encontra-se de pé, com o tronco neutro, sem qualquer inclinação, e com um joelho fletido, com um ângulo entre 30 e 60º. Tal como para as restantes posturas, elaborou-se um esboço da postura Z, exposto na Figura 3.

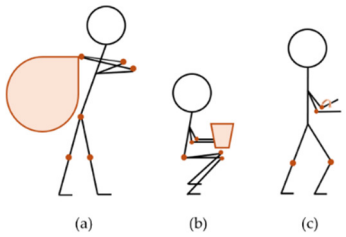


Figura 3 - Representação Gráfica das Posturas: (a) Postura X; (b) Postura Y; (c) Postura Z

5. Resultados e Discussão

Considerando a descrição feita do sistema de apoio à decisão desenvolvido, neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada indicador, através da introdução no sistema dos dados relativos às posturas X, Y e Z, descritas anteriormente. Após aplicação do sistema de apoio à decisão de ergonomia de produção desenvolvido, através do cálculo dos indicadores propostos para as posturas pensadas, foi possível reunir todos os resultados, com o objetivo de os comparar. A Tabela 5, que se encontra de seguida, apresenta todos os resultados obtidos para cada uma das posturas, incluindo as posturas de validação usadas para aferir a confiabilidade do sistema desenvolvido.

Tabela 5 - Resumo dos Resultados Obtidos

	OWAS	NIOSH		REBA
		LI Origem	LI Destino	
Postura X	3	1,93788625	1,866112685	8
Postura Y	2	0,527080388	0,580160535	9
Postura Z	2	0,24237287	0,250730555	5
Postura VAL (OWAS)	2			
Postura VAL (NIOSH)		1,165433929	1,617138368	
Postura VAL (REBA)				11

Pela observação da Tabela 5 e excluindo as posturas de validação, é possível perceber que a postura mais critica é a postura X, sendo a que representa maior risco ergonómico, por apresentar valores de OWAS e NIOSH mais elevados. Contudo, apesar do valor do REBA não ser o mais elevado, acaba por ter mais peso, em comparação com a postura Y, onde o valor do OWAS e NIOSH são inferiores.

Assim, é necessária alguma preocupação e empenho em corrigir este tipo de posturas, de forma que não tenham implicações tão negativas na saúde dos trabalhadores no setor da construção civil.

6. Conclusão

O caso de estudo apresentado teve como intuito a avaliação do risco ergonómico no local de trabalho. Neste caso, o setor em que o caso de estudo incidiu foi o setor da Construção Civil, uma vez que foi a área com maior incidência do número de acidentes de trabalho graves, nos últimos 4 anos (desde 2020 até 2024).

Foram utilizados alguns indicadores ergonómicos que avaliam as posturas dos trabalhadores, nomeadamente o OWAS, NIOSH e REBA. Para pôr em prática estes indicadores, foi desenvolvido um Sistema de Apoio à Decisão de Ergonomia de Produção, através da formulação no programa EXCEL *Microsoft Office*, com todos os dados relativos a cada indicador. Para validar o sistema criado, foram avaliadas três posições, pré-definidas: as posturas X, Y e Z. Desta forma, e através de uma validação científica, conclui-se que o sistema desenvolvido atingiu os objetivos traçados.

O desenvolvimento deste sistema de apoio teve como principal objetivo melhorar as condições de trabalho, contribuindo assim, para a redução do número de lesões nos trabalhadores. Neste sentido, utilizando este sistema vai ser possível auxiliar os supervisores na correção das posturas dos operadores e, desta maneira, inibir futuros problemas associados. De facto, a utilização deste sistema de apoio à decisão pode trazer mais valias não só para a empresa em si, como para os seus próprios operadores.

Uma sugestão que permite reduzir o número de lesões nos operadores, tendo em conta a melhoria das posturas corporais adotadas pelos mesmos, é a rotação de pessoal. As empresas, ao implementarem esta medida, concedem benefícios aos trabalhadores, visto que os mesmos não estarão sempre na mesma posição, nem a realizar sempre as mesmas tarefas. Deste modo, ao existir uma rotação de operadores, ou seja, os mesmos trocarem de posições, estes iriam usufruir, por exemplo, de alguns minutos de descanso, permitindo os alongamentos dos membros superiores ou inferiores, diminuindo o aparecimento precoce de lesões durante o período laboral.

Analisando os dados relativos ao cálculo do OWAS, NIOSH e REBA, chegou-se à conclusão de que se existisse um outro sistema de apoio à decisão, que pudesse estar integrado no desenvolvido, ou não, como por exemplo um dispositivo de monitorização, como uma pulseira, ou outro dispositivo móvel não invasivo, com o objetivo de avaliar e atribuir valores relacionados com os elementos corporais de cada postura, de forma automática. De modo a suportar a sugestão proposta, já existem casos de estudo que propõem soluções, com o intuito de prevenir o risco de lesões musculoesqueléticas nos trabalhadores, através do uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) inteligentes, assim como outros sistemas de monitorização (Lemos et al., 2022; Márquez-Sánchez et al., 2021). O uso destes dispositivos pretende ajudar as organizações no planeamento a longo prazo, com vista a melhorar as políticas de Segurança e Saúde Ocupacionais (SST), com recurso à Inteligência Artificial, IA. Desta maneira, recorrendo aos algoritmos de inteligência artificial, as empresas conseguem identificar as condições de trabalho que estão suscetíveis à ocorrência de acidentes. Assim, as organizações mantêm os ambientes de trabalho mais seguros, visando a melhoria da saúde e segurança dos seus operadores (Lemos et al., 2022). De forma a sustentar a sugestão da utilização da pulseira em ambiente laboral, foi desenvolvido um caso de estudo, que aplica três peças de EPI, sendo eles um capacete, um cinto e uma pulseira. Este estudo teve como propósito garantir a integridade e segurança dos operadores recorrendo à previsão e notificação precoce de problemas detetados no ambiente de

trabalho, por meio do uso de técnicas de IA. A pulseira tem como finalidade estabelecer estimativas do estado do trabalhador, em período real, por meio da medição de parâmetros antropométricos (Márquez-Sánchez et al., 2021).

Com vista a melhorar as condições dos trabalhadores do setor da Construção Civil, podem ser desenvolvidos trabalhos futuros que permitam a análise de todos os dados, através da utilização de técnicas de IA que contribuíssem para saber quais as fases da construção mais prejudiciais para os trabalhadores. O sucesso destes trabalhos depende de diversos fatores, sendo os principais a variabilidade dos riscos e a aceitação por parte dos operadores. De facto, esta variabilidade está relacionada com o avanço da construção. Assim, a monitorização do local de trabalho, torna-se uma tarefa cada vez mais difícil (Lemos et al., 2022).

Apesar desta sugestão ser uma opção credível, existem contrapontos, uma vez que estes tipos de sistemas são bastante dispendiosos, principalmente para pequenas e médias empresas. Desta maneira, a organização que adotasse esta sugestão teria de realizar um investimento, com o intuito de melhorar a saúde dos seus trabalhadores (Lemos et al., 2022).

Referências

ACT (2024). Número de inquéritos de acidentes de trabalho graves. ACT. https://portal.act.gov.pt/Pages/acidentes_de_trabalho_graves.aspx

Çakıt, E., & Karwowski, W. (2024). Soft computing applications in the field of human factors and ergonomics: A review of the past decade of research. Applied Ergonomics, 114. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104132

Calzavara, M., Glock, C. H., Grosse, E. H., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2016). Models for an ergonomic evaluation of order picking from different rack layouts. IFAC-PapersOnLine, 49(12), 1715–1720. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.829

Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2021). Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 67, 1–30. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101998

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

INE (2024). Índices de Produção, Emprego e Remunerações na Construção. INE. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=643890203&DESTAQUEStema=55534&DESTAQUESmodo=2

Kavus, B.Y., Gulum Tas, P., & Taskin, A. (2023). A comparative neural networks and neuro-fuzzy based REBA methodology in ergonomic risk assessment: An application for service workers. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 123. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106373

Kodle, N. R., Bhosle, S. P., & Pansare, V. B. (2023). Ergonomic risk assessment of tasks performed by workers in granite and marble units using ergonomics tool's REBA. Materials Today: Proceedings, 72, 1903–1916. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.153

Lemos, J., Gaspar, P. D., & Lima, T. M. (2022). Individual Environmental Risk Assessment and Management in Industry 4.0: An IoT-Based Model. Applied System Innovation, 5, 1–16. https://doi.org/10.3390/asi5050088

Márquez-Sánchez, S., Campero-Jurado, I., Herrera-Santos, J., Rodríguez, S., & Corchado, J. M. (2021). Intelligent Platform Based on Smart PPE for Safety in Workplaces. Sensors, 21(14), 1–22. https://doi.org/10.3390/s21144652

Mostafa, N. A. (2023). Human Factors and Ergonomics for Intelligent Manufacturing in the Era of Industry 4.0. 2023 4th International Conference on Artificial Intelligence, Robotics and Control (AIRC), 88–93. https://doi.org/10.1109/AIRC57904.2023.10303190

Murtoja Shaikh, A., Bhusan Mandal, B., & Mangani Mangalavalli, S. (2022). Causative and risk factors of musculoskeletal disorders among mine workers: A systematic review and meta-analysis. Safety Science, 155, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105868

Ogedengbe, T. S., Abiola, O. A., Ikumapayi, O. M., Afolalu, S. A., Musa, A. I., Ajayeoba, A. O., & Adeyi, T. A. (2023). Ergonomics Postural Risk Assessment and Observational Techniques in the 21st Century. Procedia Computer Science, 217, 1335–1344. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.331

Oyekan, J., Chen, Y., Turner, C., & Tiwari, A. (2021). Applying a fusion of wearable sensors and a cognitive inspired architecture to real-time ergonomics analysis of manual assembly tasks. Journal of Manufacturing Systems, 61, 391–405. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.09.015

PORDATA (2023a). Emprego: Total e por ramo de atividade, equivalente a tempo completo. PORDATA. https://www.pordata.pt/portugal/emprego+total+e+por+ramo+de+atividade++equivalente+a+tempo+completo+(base+2016)-2296-180303

PORDATA (2023b). Produtividade aparente do trabalho: Total e por ramo de atividade. PORDATA. https://www.pordata.pt/portugal/produtividade+aparente+do+trabalho+total+e+por+ramo+de+atividade-2303-180433

Rodrigues, B. S., Freitas, M., Tomé, D., & Neto, H. V. (2020). Avaliação de Fadiga Laboral e Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho numa Secção de Mistura de Cortiça. Cadernos de Engenharia de Segurança, Qualidade e Ambiente, 3, 149–177. https://www.researchgate.net/publication/348910576

Zhang, H., & Lin, Y. (2023). Modeling and evaluation of ergonomic risks and controlling plans through discrete-event simulation. Automation in Construction, 152. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104920

Zhang, M., Li, H., & Tian, S. (2023). Visual analysis of machine learning methods in the field of ergonomics—Based on Cite Space V. International Journal of Industrial Ergonomics, 93. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103395

Zong, H., Yi, W., Antwi-Afari, M. F., & Yu, Y. (2024). Fatigue in construction workers: A systematic review of causes, evaluation methods, and interventions. Safety Science, 176. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106529

ID17
Mitigação de Produtos Danificados Através da Normalização de Processos num Armazém de Distribuição Farmacêutica

Mariana Borges ([1]), S. Capitão ([1])
a2019138618@isec.pt, capitao@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal

Resumo

A ocorrência de produtos danificados em armazéns de distribuição farmacêutica representa um desafio significativo, impactando negativamente tanto na qualidade do serviço quanto nos resultados financeiros das empresas. Este artigo explora o papel da normalização de processos enquanto estratégia de mitigação dos danos, permitindo assim obter a garantia da integridade dos produtos desde o seu recebimento até à sua expedição.
A padronização das boas práticas de manuseio e armazenamento através da implementação de standards rigorosos e detalhados para cada etapa do processo, em conjunto com a devida formação dos colaboradores, são essenciais para a redução do número de produtos danificados.
A implementação de auditorias regulares é outra componente vital, uma vez que estas permitem a verificação contínua da conformidade dos processos normalizados, identificando possíveis falhas, bem como oportunidades de melhoria. Assegura-se, assim, que os procedimentos estão a ser seguidos corretamente e que as melhores práticas estão em constante evolução.
A aplicação de metodologias como os relatórios A3 e o ciclo SDCA, aliada a uma cultura de melhoria contínua, permitem a criação de um sistema de feedback contínuo que visa identificar tendências, realizar ajustes proativos nos processos e, assim, aumentar a eficácia das medidas de mitigação.
O caso de estudo apresentado no artigo consistiu na integração de medidas como a normalização e a implementação de rotinas de auditorias aos processos, e na aplicação de metodologias de melhoria contínua, concluindo-se que são fundamentais para reduzir significativamente a ocorrência de produtos danificados, garantir a qualidade do serviço e a eficiência dos processos de armazenamento.

Palavras-Chave: Melhoria Contínua, Normalização, Auditorias, SDCA

1. Introdução

Um dos principais desafios da operação de um armazém é a existência de produtos danificados, uma vez que estes impactam diretamente a produtividade, a qualidade do serviço ao cliente e os custos operacionais associados aos processos. Sendo assim, é crucial compreender a dimensão do impacto que os produtos danificados têm nos processos de armazém, de forma a conseguir-se implementar estratégias eficazes de prevenção e mitigação que visem a otimização da eficiência operacional.

A filosofia *Kaizen* assume um papel crucial na resolução deste tipo de problemas, permitindo promover processos mais eficientes, eficazes, controlados e adaptáveis através de um esforço coletivo. A sua implementação proporciona diversos benefícios, incluindo o aumento da produtividade, a correção dos locais de trabalho, a mitigação de desperdícios e a redução de custos. A fim de aplicar esta estratégia *lean*, existem diversas ferramentas e metodologias, tais como os ciclos PDCA e SDCA, o Relatório A3 e os *Gemba Walks*.
Neste contexto, este artigo examina um caso de estudo focado na mitigação de produtos danificados em um armazém automático de distribuição farmacêutica, utilizando um Relatório A3 de Resolução de Problemas. O estudo detalha as etapas e ações tomadas para reduzir os danos aos produtos, analisando a situação atual, identificando causas raízes, implementando soluções e verificando os resultados alcançados. As principais soluções implementadas têm por base o ciclo SDCA na normalização de processos e a implementação de rotinas de auditorias a estes.

Em suma, para otimizar a eficiência operacional e mitigar o impacto dos produtos danificados num armazém, a implementação de uma cultura de melhoria contínua e das suas ferramentas é essencial. Estas abordagens não permitem apenas uma redução dos custos operacionais e uma melhoria da produtividade, mas também fortalecem a qualidade do serviço ao cliente através de processos mais controlados e flexíveis.

2. Filosofia *Kaizen*

Kaizen consiste numa palavra japonesa que tem como tradução mais simples a expressão "mudar para melhor" ou a designação de "melhoria contínua" (Abdulmouti, 2015). Esta palavra é constituída pelo prefixo "*Kai*" que significa mudar e pelo termo "*Zen*" que significa melhor, dando origem a um dos conceitos chave da cultura de Melhoria Contínua.
Este conceito teve origem no Japão após a Segunda Guerra Mundial, tendo sido considerado como uma metodologia de gestão sistemática pela primeira vez em 1986. A filosofia associada ao termo *Kaizen* surge da colaboração de Masaaki Imai com Taiichi Ohno no desenvolvimento e difusão da mensagem do *Toyota Production System* (TPS) (Kaizen Institute, 2023b).
Atualmente, a filosofia *Kaizen* pode ser considerada como uma estratégia *lean*, uma vez que esta permite um processo mais eficiente e eficaz, mais controlado e adaptável através de um esforço coletivo. Sendo assim, a implementação desta proporciona benefícios como o aumento da produtividade, a correção dos locais de trabalho, a mitigação de desperdícios e a redução e otimização de custos de forma a poupar mão-de-obra, espaço, equipamentos, material, entre outros (Abdulmouti, 2015) (Karkoszka & Honorowicz, 2009).
Tendo em conta o Kaizen Institute (2023a), a metodologia *Kaizen* por norma assenta nos seguintes princípios: criação de valor para o cliente, criação de fluxo, orientação para o *gemba*[1], formação e motivação dos colaboradores, informação e dados transparentes.

3. Metodologias e Ferramentas Kaizen

Tendo em conta a crescente procura pelas empresas da implementação da filosofia *Kaizen* nos seus processos, surgem diversas ferramentas que permitem aplicar conceitos de Melhoria Contínua e, assim, obter-se desperdício zero. Exemplos de algumas destas metodologias são os ciclos PDCA e SDCA, o relatório A3 e os *Gemba Walks*, que se encontram descritos de seguida com mais detalhe.

3.1 Ciclo PDCA e SDCA

O ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming ou de Shewhart, é uma ferramenta que tem como principal objetivo a prevenção de ocorrências de erros através da implementação de *standards* e de revisões e modificações constantes a esses mesmos *standards* (Moen & Norman, 2009).
A aplicação de um ciclo PDCA segue os seguintes quatro passos (Pietrzak & Paliszkiewicz, 2015):

- ***Plan* (planear):** Determinação de objetivos e definição dos métodos que serão utilizados para os atingir. Engloba atividades como a formulação da missão e o desenvolvimento da visão e da estratégia;
- ***Do* (executar):** Execução das ações definidas anteriormente, colocando em prática os métodos estabelecidos. Para além disso, também se deve comunicar a estratégia e motivar- se os colaboradores para a implementação desta;
- ***Check* (verificar):** Verificação dos resultados obtidos, averiguando se estes vão ao encontro das previsões no primeiro passo e se as expectativas estão a ser atingidas. Para tal, são realizadas atividades como o controlo da implementação, a análise de resultados e a validação de testes e da estratégia;
- ***Act* (agir):** Revisão dos métodos adotados e avaliação dos resultados destes, de forma a perceber quais foram bem-sucedidos e se estes devem ser implementados a longo prazo. No caso dos que correram mal e provocaram problemas, deve identificar-se a causa do problema e tentar-se corrigir os erros. Se se chegar à conclusão de que não se obtiveram os resultados pretendidos, deve-se regressar ao início do ciclo e repetir o processo.

Esta ferramenta é cíclica e assenta no princípio da iteração. A repetição contínua dos passos permite validar ou não validar as ações implementadas bem como aumentar a qualidade do conhecimento sobre os processos (Pietrzak & Paliszkiewicz, 2015). Porém, antes de se aplicar o ciclo PDCA é importante estabilizar os *standards* já existentes. Este processo de estabilização denomina-se como ciclo SDCA (Moen & Norman, 2009).Este consiste num aprimoramento do ciclo PDCA que tem como objetivo garantir, através de auditorias, que os *standards* estão a ser cumpridos (Liedtke, 2014)(Knop & Mielczarek, 2015).

[1] ***Gemba*:** Consiste no local onde ocorrem os processos que acrescentam valor, sendo também onde se encontra as causas da maioria dos problemas. (Kaizen Institute, 2023a)

Sendo assim, esta metodologia de normalização tem por base os seguintes passos (Liedtke, 2014;Knop & Mielczarek, 2015):

- ***Standardize* (standardizar):** Elaboração dos *standards* que se pretende implementar. Metodologias como os 5 Porquês e Manuais Visuais assumem um papel importante nesta fase, visto que ajudam a identificar as nuances de um *standard*;
- ***Do* (executar):** Implementação no *gemba* dos *standards* elaborados no passo anterior;
- ***Check* (verificar):** Verificação do cumprimento dos *standards* implementados. No caso de não se verificar a utilização destes, deve questionar-se se estes estão inadequados ou se foram ignorados;
- ***Act* (agir):** Revisão e avaliação dos *standards*, de forma a decidir se estes devem ser atualizados ou se devem ser abandonados.

A implementação deste ciclo de melhoria antes do ciclo PDCA proporciona benefícios, tais como a redução da probabilidade de perdas, ações de melhoria mais sustentáveis, a minimização de tempo desperdiçado, a medição do nível de implementação de ações de melhoria e de *standards*, entre outros (Knop & Mielczarek, 2015).

3.2 Relatório A3 de Resolução de Problemas

O Relatório A3 de Resolução de Problemas foi desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, para documentar todo o processo de resolução de problemas através de texto, imagens, diagramas e gráficos num dos lados de uma folha A3 (Bassuk & Washington, 2013;Lenort et al., 2017). Sendo assim, esta ferramenta permite chegar mais rápido a um consenso em tomadas de decisão complexas (Lenort et al., 2017).
Estes relatórios têm por base o ciclo PDCA e, por norma, o lado esquerdo do relatório refere-se à fase de planeamento (*plan*) e o lado direito está associado às fases de execução (*do*), verificação (*check*) e ação (*act*) (Lenort et al., 2017). As secções mais comuns neste tipo de relatórios são as seguintes (Lenort et al., 2017; Sobek & Jimmerson, 2004):

- **Tema e *Background*:** O tema ou título deve descrever sucintamente o problema a resolver, enquanto o *background* é referente a qualquer informação que seja pertinente e essencial para o entendimento da gravidade do problema;
- **Situação Atual:** Esta secção consiste no desenho de um diagrama que descreve o funcionamento do sistema onde ocorreu o problema, tendo por base informação recolhida através de observação direta;
- **Situação Futura:** Trata-se do desenho de um diagrama que espelha o funcionamento futuro do sistema após a implementação de todas as melhorias;
- **Análise de Causa Raiz:** Esta análise pretende identificar e compreender como o problema surgiu, sendo normalmente utilizadas ferramentas como os 5 Porquês ou o Diagrama de Ishikawa para a construção desta secção;
- **Plano de Implementação:** Este plano descreve os passos e ações que são necessários realizar para que se alcance a situação futura desenhada, atribuindo-se um prazo e um responsável a cada um destes;
- **Plano de Acompanhamento:** Este plano indica como e quando se deve medir a melhoria do sistema ou os resultados obtidos no decorrer do projeto, devendo este incluir também uma previsão realista e quantificada de como o novo sistema irá funcionar.

Segundo Ta & Xu (2017), as dificuldades mais comuns durante a realização de um relatório A3 estão relacionadas com a atribuição de um título adequado, a decisão de quais ações devem ser implementadas para melhorar o sistema, a definição de objetivos de produtividade e a especificação do fator de produtividade.

3.3 Gemba Walks

Os *Gemba Walk*s consistem numa visita/inspeção ao local de trabalho (*gemba*) com o objetivo de observar os processos, colocar questões ao operador e identificar ganhos de produtividade. Para além disso, esta prática também permite identificar problemas e obter *feedback* valioso, reduzir os desperdícios existentes, identificar oportunidades de melhoria no processo, discutir metas e objetivos, e estabelecer boas relações com a equipa (Tarlengco, 2024).
Este tipo de visitas ao *gemba* surgiram no departamento de produção da *Toyota* e, por norma, são realizadas pelos líderes, gestores ou diretores das organizações, de forma a terem um melhor conhecimento dos processos ao nível operacional (Tarlengco, 2024)(Adobe Communications Team, 2022).
A realização regular de *Gemba Walks* proporciona benefícios tais como (Tarlengco, 2024):

- Ajuda a demonstrar o compromisso da gestão para com o desenvolvimento operacional e profissional;
- Motiva os operadores, uma vez que permite demonstrar que a organização valoriza o trabalho destes;

- Introduz mudanças que podem ser facilmente adotadas pelos operadores;
- Promove uma cultura de melhoria, transparência, colaboração e trabalho em equipa;
- Otimiza as operações a diferentes níveis, permitindo poupar tanto tempo como dinheiro.

Sendo assim, para que um *Gemba Walk* seja eficaz e apresente resultados positivos, este deve ter em conta elementos tais como: a elaboração de um plano com perguntas chave; a preparação da equipa de forma a esta conseguir contribuir com *insights* sobre as operações; o seguimento do fluxo de valor e a identificação de oportunidades de melhoria; o registo das observações feitas; a observação sem interferência ou correção; o foco no processo e não na *performance* do operador, e a comunicação de *feedback* à equipa no final, promovendo uma relação de transparência entre os diversos níveis da organização (Ta & Xu, 2017) (Tarlengco, 2024).

4. Caso de Estudo

Neste caso de estudo o desafio consistia na mitigação de produtos danificados num armazém automático de distribuição farmacêutica. Uma vez que se pretendia solucionar este problema de forma eficaz e prática, foi utilizado como método um relatório A3 de resolução de problemas.
O relatório utilizado inclui as seguintes secções: descrição do objetivo, situação atual, definição do objetivo, análise de causas, soluções, teste de soluções, plano de ação, verificação dos objetivos e conhecimento adquirido. Porém, de forma a compreender melhor as ações de melhoria resultantes da utilização desta ferramenta, é necessário conhecer um pouco do processo em estudo e que atividades se encontram no contexto do relatório A3. Sendo assim, de acordo com De Koster et al. (2007), por norma, um armazém apresenta as seguintes atividades: receção, arrumação, *picking*/aviamento, acumulação e triagem, *cross-docking* e expedição. Tendo em conta o âmbito do relatório A3, apenas estão incluídas as atividades de receção e conferência, de arrumação e de *picking*/aviamento. Para além das atividades mencionadas na literatura referida, também é apresentada a atividade de reposição. A sequência destas bem como as principais operações encontram-se representadas na Figura 1.

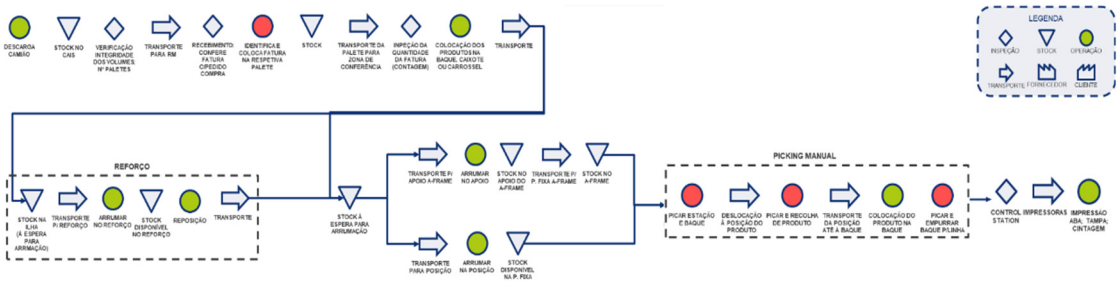


Figura 1 – Fluxo de material do processo do armazém

As atividades de receção e conferência consistem nas operações de descarga no cais, de registo no sistema de informação, de inspeção da mercadoria recebida e do envio para a zona de armazenamento. Esta última tem a nuance de existirem dois tipos de posições de destino: a posição fixa, que contem o *stock* que fica imediatamente disponível para *picking*, e a posição de reforço, que suporta o *stock* de segurança do armazém que precisa de ser novamente manipulado para ficar disponível na zona de *picking*.
Sendo assim, a atividade de arrumação também pode ser realizada em duas zonas diferentes do armazém. Na zona de *picking* a arrumação é realizada em estantes normais ou em estantes dinâmicas e tem como unidade de movimentação o baque (caixa de plástico utilizada). Neste caso cada posição fixa apenas tem alocada uma referência de produto. Por outro lado, na zona de reforço pode arrumar-se mais do que uma referência numa única posição, uma vez que as posições consistem em paletes arrumadas em *racks*. Nesta zona a unidade de movimentação são caixas de cartão.
No que toca à atividade de reposição, esta consiste no abastecimento das posições fixas com base na percentagem de ocupação destas através do *stock* de segurança. Todos os dias são repostas as faltas (posições fixas com *stock* a zero) e de seguida vai se ajustando a percentagem de ocupação de forma a repor as posições com *stock* mais baixo.
Por último, a atividade de *picking* consiste na realização e preparação das encomendas e pode ser realizada através de um sistema automático, um sistema semiautomático ou através da operação manual. Uma vez que este relatório A3 tem como foco os produtos danificados por manipulação, apenas será descrito o *picking* manual devido a ser o único que apresenta total intervenção humana. Portanto, durante o aviamento, os produtos são acondicionados em baques que fazem um percurso com diversas estações de *picking*. Consoante a necessidade da encomenda, o baque vai parando nas estações onde o colaborador realiza o *picking* manual dos produtos alocados a esta. Após se aviar a encomenda na totalidade, o baque dirige-se para o final do percurso onde se coloca a respetiva fatura e se fecha o baque de forma automática.

4.1 Situação Atual e Definição do Objetivo

O principal objetivo do relatório A3 é a redução de cerca de 20% dos produtos danificados por manipulação no armazém face ao ano anterior. Este objetivo foi calculado com base no valor de abate por este motivo referente ao ano de 2023.
No final do ano de 2023 verificou-se que cerca de 17,16% do total de abate correspondia a produtos danificados por manipulação no armazém. Ao analisar a distribuição deste valor por tipo de depósito, verifica-se que:

- 31,42% são produtos alocados ao *picking* automático, podendo estes estar acondicionados em baques (recipientes) ou na própria máquina;
- 28,21% corresponde a produtos armazenados em reforço como *stock* de segurança;
- 20,92% é *stock* disponível armazenado na sua localização final em estantes;
- 17,18% é stock armazenado na sua posição final em estantes dinâmicas, estando este acondicionado em baques;
- 2,7% é proveniente do picking semiautomático, cujos produtos estão acondicionados em baques que estão num carrossel em constante movimentação.

4.2 Análise de Causas

A ocorrência de produtos danificados pode apresentar diversas causas, desde o manuseamento incorreto do produto, a condições ambientais desfavoráveis durante o armazenamento, à falta de cumprimento de *standards*, entre outros fatores. Neste caso foi utilizado o diagrama de Ishikawa de forma a identificar as possíveis causas de produtos danificados. Tendo em conta o diagrama apresentado na Figura 2, constata-se que a maioria das causas identificadas estão associadas à categoria método, nomeadamente à falta de normalização de alguns dos processos do armazém.

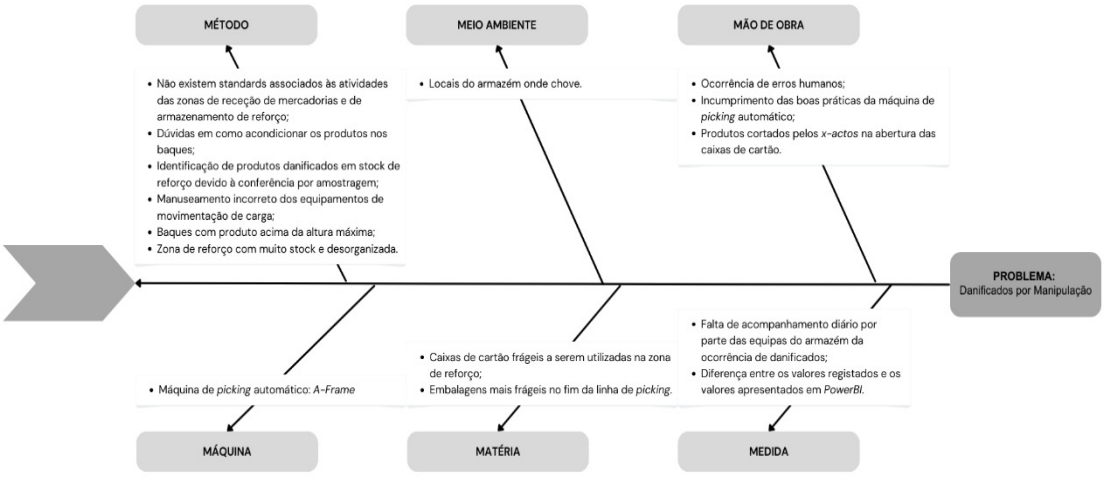


Figura 2 – Diagrama de Ishikawa

4.3 Soluções e Plano de Ação

De acordo com as causas identificadas anteriormente, foram definidas três principais ações de verificação/correção:

- **Ação 1:** Normalização de processos e elaboração de *standards*;
- **Ação 2:** Implementação de rotinas de auditorias;
- **Ação 3:** Criação de um indicador diário e análise semanal de produtos danificados.

Através da implementação destas ações pretende-se chegar a uma solução que permita alcançar o objetivo definido inicialmente. Sendo assim, as ações encontram-se descritas com maior pormenor de seguida.

Ação 1 – Normalização de Processos e Elaboração de *Standards*

De acordo com o diagrama de Ishikawa desenhado, as atividades que falta normalizar são o recebimento e a conferência na receção de mercadorias, e a arrumação e reposição na zona de armazenamento de reforço. No âmbito do relatório A3, todos os procedimentos normalizados tiverem por base o ciclo SDCA, sendo que ainda falta elaborar o *standard* de conferência de mercadoria.

A normalização da atividade de recebimento implicou o envolvimento dos restantes armazéns da empresa, uma vez que a operação é comum a todos. Sendo assim, na fase *standardize* estabeleceu-se o procedimento de comunicação entre a receção de mercadorias e o departamento de compras, e implementou-se uma sinalética de identificação da mercadoria que se encontra *on hold*. Ambas as alterações do processo foram implementadas e comunicadas às equipas envolvidas através de uma *One Point Lesson* (OPL)[2] antes da elaboração do respetivo *standard*.
Para a fase *do* encontra-se planeada uma formação, em contexto de sala, a todos os elementos das equipas de receção de mercadorias dos armazéns implicados. Devido à formação ainda não ter sido iniciada, não existem ainda dados relativos às fases *check* e *act*.

No que toca às atividades de arrumação em posição de reforço e de reposição, estas foram incluídas no mesmo *standard* devido a se realizarem na mesma zona e a serem executadas pelos mesmos elementos da equipa de armazém. Esta indefinição dos procedimentos a seguir e a ocorrência recorrente de más práticas resultava num aumento de produtos danificados e no aumento do tempo de reposição devido a produtos mal alocados.
Sendo assim, inicialmente foi elaborada uma OPL com foco na arrumação ideal desta zona, de modo a implementar melhorias imediatas no processo. Através desta OPL definiu-se as boas práticas gerais de arrumação em reforço (ex: etiquetas das caixas visíveis, arrumar as caixas do mesmo produto juntas, etc.) bem como se estabeleceu a arrumação de produtos específicos (ex: arrumação de xaropes, produtos químicos, paletes completas, etc.).
Com base nas boas práticas implementadas, foi elaborado um *standard* com caráter mais técnico e que inclui o procedimento da reposição. Porém, este ainda não foi implementado, ou seja, a fase *do*, *check* e *act* é apenas referente à OPL realizada inicialmente. Portanto, relativamente à fase *do* da OPL, a formação à equipa foi realizada *on-the-job* e foram afixados dois pósteres A0 (Figura 3) no *gemba* com as principais práticas a seguir para uma consulta mais rápida e acessível. Estes cartazes foram posteriormente atualizados na fase *check*, visto que surgiram algumas alterações de conteúdo após a sua afixação.

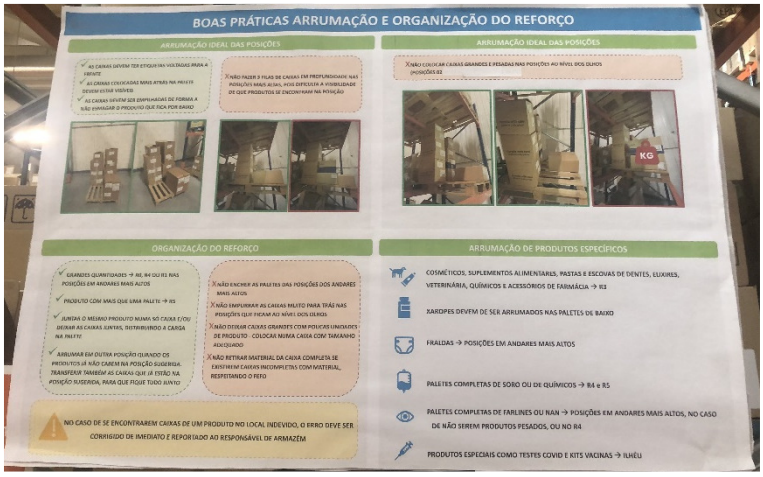


Figura 3 – Póster de Boas Práticas no Reforço

Além da normalização das atividades mencionadas no diagrama de Ishikawa, também se verificou a necessidade de uniformizar as boas práticas relativas às operações realizadas na zona do *picking* automático. Este procedimento foi elaborado em formato de OPL, de modo a ser posteriormente incluído no *standard* de arrumação em posição fixa já existente. Visto que se trata de uma zona crítica para a ocorrência de produtos danificados, foram incluídas práticas como a retirada dos plásticos/elásticos que envolvam o produto durante o seu carregamento na máquina, o respeito pela altura máxima do canal, o incentivo a arrumar de volta nos baques as unidades que não couberam no canal em vez de as deixar em cima da máquina, entre outras. Um exemplo do documento elaborado encontra-se presente na Figura 4.

2 *One Point Lesson* (OPL): Esta consiste numa lição de autoestudo rápida com foco num único aspeto da estrutura, funcionamento ou método de inspeção de um equipamento ou processo, que permite fornecer conhecimento básico aos operadores através de formação *on the job* (Rao et al., 2022) (Jayaswal & Singh Rajput, 2012).

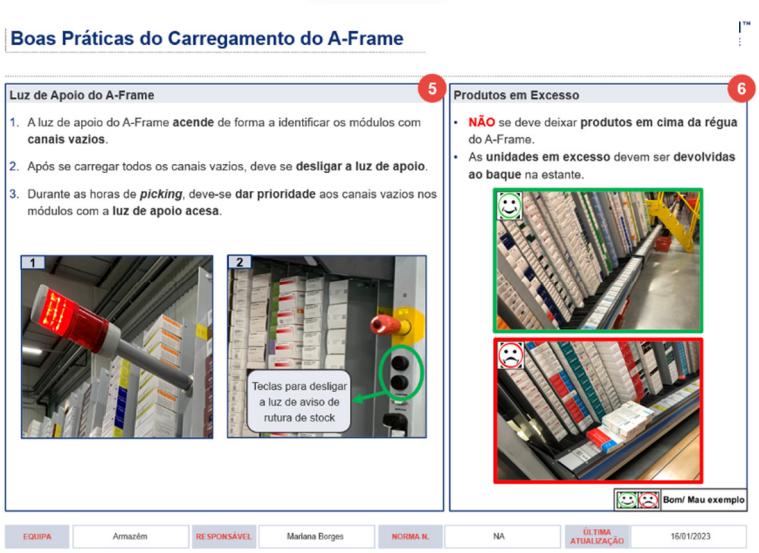


Figura 4 – OPL de Boas Práticas do Carregamento do A-Frame

Ação 2 – Implementação de Auditorias

As auditorias implementadas foram designadas por Auditorias *Gemba Walk,* uma vez que têm por base uma visita/inspeção ao *gemba* com o objetivo de observar os processos e verificar o cumprimento dos respetivos *standards*.

Estes eventos têm por base um conjunto de perguntas que permitem avaliar a conformidade de diversos pontos de qualidade do processo e, assim, atribuir uma classificação em percentagem. No caso de não se verificar a ocorrência de algum destes pontos, a classificação não é aplicável. Sendo assim, os procedimentos que apresentem consistentemente uma pontuação superior a 85% são considerados como dominados e que os *standards* associados estão a ser cumpridos.

Estas auditorias são realizadas por grupos de dois elementos, sendo os principais intervenientes a equipa de Excelência Operacional, a Direção Técnica e os Responsáveis de Armazém. No entanto, de modo a promover um maior envolvimento por parte das equipas, um colaborador pode também participar como segundo auditor.

Para além deste tipo de auditorias, foi também implementada uma outra auditoria, de carácter mais técnico, que tem como principal foco verificar a zona do *picking* automático, visto que esta é a que apresenta a percentagem mais alta de produtos danificados por manipulação. Esta auditoria permite quantificar as ocorrências de diversas situações, tais como produtos presos no topo dos canais, produtos caídos no chão ou sobre os mecanismos da máquina, produtos com plásticos/elásticos, entre outras.

Ação 3 – Indicador Diário e Análise Semanal de Produtos Danificados

Em primeiro lugar, foi implementada a apresentação das análises semanais e mensais às equipas do armazém durante o respetivo *kaizen* diário, de forma a sensibilizar os colaboradores no que toca à redução de produtos danificados e, assim, envolvê-los também na procura por soluções. Contudo, constatou-se que a participação dos membros da equipa nesta parte da reunião não era a ideal, levando à decisão de criar um indicador diário com base no objetivo estabelecido inicialmente. Tratando-se de um objetivo anual, este foi adaptado para os respetivos valores diário e mensal. Uma vez que o objetivo foi definido de acordo com o valor monetário de abate e não consoante a quantidade de unidades danificadas, o valor diário registado varia muito facilmente devido à discrepância de preço entre alguns dos produtos. Sendo assim, o indicador apresentado está muitas vezes a vermelho, o que incentiva a equipa a discutir as causas e possíveis soluções das ocorrências registadas. Além disso, por vezes, também são apresentados os produtos danificados do dia anterior ou imagens de situações que ocorreram e não devem repetir-se.

4.4 Resultados Obtidos

Esta subsecção visa apresentar os resultados obtidos através da implementação das ações descritas anteriormente, nomeadamente as associadas às ações 1 e 2. Pelo facto de a ação 2 ocorrer na sequência do que foi concretizado no âmbito da ação 1, o impacto de ambas irá refletir-se nos resultados e classificações obtidos nas auditorias.

Relativamente às auditorias de *Gemba Walk*, o período de análise foi de cinco meses e apenas serão apresentados os resultados referentes às atividades com algum tipo de procedimento implementado (OPL ou *standard*), tal como se descreve a seguir:

- ***Gemba Walk* da Reposição:** Esta auditoria visa verificar o cumprimento do procedimento relativo à arrumação em reforço e à reposição. Para 14 auditorias realizadas, obteve-se um resultado médio de 84% com tendência a evoluir para resultados positivos. O resultado encontra-se ligeiramente abaixo do valor considerado como conforme, uma vez que ocorreu um período de 2 meses em que se verificou constantemente o incumprimento do registo de más práticas na zona de reforço. Este registo foi implementado em simultâneo com a respetiva OPL e, enquanto esteve em vigor, não apresentou benefícios significativos à operação, levando ao cancelamento desta ação. No entanto, ainda se verifica o incumprimento de práticas tais como as regras de acondicionamento dos produtos nos baques, caixas de cartão mal-arrumadas e que esmagam o produto arrumado por baixo, entre outras;
- ***Gemba Walk* de Enchimento de Canais do *A-Frame*:** Esta auditoria tem como objetivo a avaliação das operações associadas à máquina de *picking* automático, nomeadamente o seu carregamento e arrumação no respetivo apoio. Esta foi realizada 15 vezes e apresentou um resultado médio de 63%. Devido a ser o *gemba walk* com pior resultado e também ser a zona com o maior número de ocorrências de produtos danificados, aumentou-se a frequência da sua realização para uma vez por dia. As principais não conformidades identificadas foram produtos em cima das réguas da máquina, produtos soltos ou caídos (entre os injetores, na calha, no chão, etc.), canais com produto para além da capacidade máxima e plásticos deixados nas estantes e nos baques.

No que toca à auditoria técnica da zona do *picking* automático, os dados obtidos são referentes a 24 dias e identificaram-se 109 produtos presos no canal, 16 produtos caídos no chão, 7 produtos carregados na vertical no canal, 6 produtos caídos na zona dos injetores dos canais, 1 canal carregado com produtos envolvidos em plástico/elástico e 1 produto compactado pela pistola do canal. Estes resultados levam a acreditar que uma das principais causas de danificados pode ser o desrespeito pela altura máxima dos canais. Tal como feito para o *Gemba Walk* de Enchimento de Canais do *A-Frame*, a frequência desta auditoria foi aumentada para diária.

4.5 Verificação dos Objetivos

Comparando o valor de abate dos primeiros cinco meses de 2023 com os obtidos para o mesmo período em 2024, verifica-se que o objetivo ainda não foi atingido, tendo-se aumentado cerca de 30% face a 2023. À data da elaboração deste artigo, os danificados correspondiam a 21% do valor total de abate registado e com a seguinte distribuição por tipo de depósito:

- 29,72% são produtos alocados ao *picking* automático;
- 31,41% corresponde a produtos armazenados em reforço como *stock* de segurança;
- 26,71% é *stock* disponível armazenado na sua localização final;
- 11,31% é stock armazenado na sua posição final em estantes dinâmicas;
- 0,84% é proveniente do picking semiautomático.

Através destes valores pode-se constatar que a percentagem de produtos danificados na zona de reforço aumentou, passando a ser o depósito com o maior número de ocorrências de produtos danificados. Este acréscimo deve-se ao aumento da frequência com que acontecem certos tipos de ocorrências, tais como as situações em que a unidade de movimentação caiu durante a sua manipulação (baque ou caixa de cartão) e, por isso, se danificou um elevado número de unidades. Outra situação com grande impacto são os produtos danificados devido à utilização dos equipamentos de movimentação de carga. Estes tipos de ocorrências representam cerca de 28% do total de ocorrências de produtos danificados na zona de reforço no ano de 2024. Em cerca de 69% das ocorrências não se sabe em concreto a origem do dano do produto, o que dificulta a procura de uma solução eficaz que permita o cumprimento do objetivo.
Relativamente aos restantes depósitos, diminuiu ligeiramente a percentagem de danificados face ao valor de abate total. Porém, os produtos danificados na zona de *picking* automático continuam no *top* 2 de depósitos com maior volume de produtos danificados.

5. Conclusão

A implementação da filosofia *Kaizen*, juntamente com suas metodologias específicas como os ciclos PDCA e SDCA, o Relatório A3 e os *Gemba Walks*, desempenhou um papel crucial na transformação operacional do armazém automático de distribuição farmacêutica estudado. Ao longo do caso de estudo, foi evidenciado que, apesar do objetivo ainda não ter sido atingido, a aplicação destas ferramentas não apenas contribuiu para a mitigação dos problemas relacionados aos produtos danificados, mas também otimizou os processos internos.
O Relatório A3 emerge como uma ferramenta vital para a resolução de problemas complexos, facilitando uma abordagem estruturada que incluiu a análise detalhada da situação atual, a identificação das causas-raiz dos danos nos produtos e a proposta de soluções práticas. A divisão clara entre as seções de planeamento e de execução no formato A3 permitiu uma visão holística e uma comunicação eficaz das estratégias de melhoria propostas.
A normalização de processos e a utilização do ciclo SDCA na elaboração de *standards*, demonstraram ser essenciais para a melhoria da organização e da eficiência do armazém, permitindo reduzir a ocorrência de erros e desperdícios. No entanto, esta ação ainda se encontra incompleta, apresentando potencial para gerar mais benefícios à operação do armazém e, assim, contribuir para o cumprimento do objetivo.
Além disso, as auditorias implementadas desempenham um papel crucial ao permitir uma avaliação direta e detalhada dos processos operacionais. Estas não promoveram apenas uma cultura de transparência e responsabilidade nas equipas do armazém, mas também facilitaram a identificação proativa de oportunidades de melhoria e a implementação de novas ações.
Em suma, este caso de estudo ilustra como a filosofia *Kaizen*, com as suas metodologias estruturadas e orientadas para a melhoria contínua, pode não apenas resolver desafios operacionais significativos, como os relacionados à gestão de produtos danificados, mas também transformar positivamente a eficiência operacional e a qualidade do serviço ao cliente em ambientes complexos de armazenamento e distribuição.

Referências

Abdulmouti, H. (2015). The Role of Kaizen (Continuous Improvement) in Improving Companies' Performance: A Case Study. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093768

Adobe Communications Team. (2022, Outubro 31). *Gemba Walk — what it is, how to do it, and a checklist for doing it well*. Adobe Experience Cloud. https://business.adobe.com/blog/how-to/gemba-walk

Bassuk, J. A., & Washington, I. M. (2013). The A3 Problem Solving Report: A 10-Step Scientific Method to Execute Performance Improvements in an Academic Research Vivarium. *PloS one*, *8*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076833

De Koster, R. B. M., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, *182*(2), 481–501. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009

Jayaswal, P., & Singh Rajput, H. (2012). IMPLEMENTATION OF KAIZEN AND JISHU HOZEN TO ENHANCE OVERALL EQUIPMENT PERFORMANCE IN A MANUFACTURING INDUSTRY. *International Journal of Research in IT & Management*, *2*(8), 51–64. http://www.mairec.orghttp://www.mairec.org

Kaizen Institute. (2023a). *Fundamentos KAIZEN*.

Kaizen Institute. (2023b). *O que é KAIZEN*. https://kaizen.com/pt/o-que-e-kaizen/

Karkoszka, T., & Honorowicz, J. (2009). Kaizen philosophy a manner of continuous improvement of processes and products. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, *35*(2), 197–203.

Knop, K., & Mielczarek, K. (2015). THE IMPROVEMENT ON THE BASIS OF PDCA AND SDCA CYCLES. *Zeszyty Naukowe Quality. Production. Improvement* , *2*(3), 60–71. http://prince2-pl.blogspot.com/2014/03/planuj-deleguj-monitoruj-steruj.html

Lenort, R., Staš, D., Holman, D., & Wicher, P. (2017). A3 Method as a Powerful Tool for Searching and Implementing Green Innovations in an Industrial Company Transport. *Procedia Engineering*, *192*, 533–538. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.092

Liedtke, C. A. (2014). Applying the Four Student Model During the SDCA Cycle. *The International Conference on Quality*.

Moen, R., & Norman, C. (2009). Evolution of the PDCA Cycle. *7th Asian Network for Quality Congress*. https://www.anforq.org/activities/congresses/index.html

Pietrzak, M., & Paliszkiewicz, J. (2015). Framework of Strategic Learning: The pdca Cycle. *Management (18544223)*, *10*(2), 149–161.

Rao, C. N., Bhargav, P., Adarsh, N. A. S., Shashank, C., & Gopal, B. V. (2022). One Point Lesson. *Chemical Industry Digest*. https://www.researchgate.net/publication/361055729

Sobek, D. K., & Jimmerson, C. (2004). *A3 Reports: Tool for Process Improvement*.

Ta, S., & Xu, X. X. (2017). Analysis of the A3 Report Template and Suggestions for Improvement. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed59413.2023.10305743

Tarlengco, J. (2024, Janeiro 31). *Gemba Walk: Meaning, Process, and Examples*. Safety Culture. https://safetyculture.com/topics/gemba-walk/

ID18
The Role of Employees in Implementing a SAP System: A Practical Case in the Luxury Leather Goods Industry

A.L.V. Lobarinhas ([1]), M. T. Gonçalves ([1]), S.F.C.F.Teixeira ([1])
micael,goncalves@dps.uminho.pt, st@micael.goncalves@dps.uminho.pt

([1]) Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Portugal

Abstract:

This study explores the significant investment of time and resources by a luxury leather goods manufacturer in various educational and social activities during its transition to the SAP system. This company is part of one of the largest groups in the luxury industry. These activities, while seemingly irrelevant at first sight, are believed to have been crucial in achieving a successful transformation. The company, with nearly 600 employees, presented excellent results during this transition, which has been praised by its sibling ateliers for its smooth and positive implementation, due to a comprehensive approach to human management.
Lessons learned from earlier SAP implementations in other ateliers highlighted the importance of preparing employees for the change. The atelier engaged in activities such as creating a mascot, "Minhota", through collaborative workshops, dynamic layout change exercises, and an innovative "Marketplace" activity using Legos to simulate the entire production flow. These efforts were designed to help employees understand and embrace the new system, fostering excitement and anticipation for the change. This study aims to evaluate the effectiveness of these educational and social activities in making the transition smoother and ensuring that employees were well-prepared, trained, and motivated. By focusing on human management, the most challenging aspect of such a large-scale project, the company has set a higher standard for future transitions within the group. The results suggest that these activities played a vital role in the project's success, highlighting the importance of employee engagement and preparation in technological transformations.

Keywords: SAP implementation, human management, employee engagement, organizational transformation

1. Introduction

1.1. Framework and Motivation

In the fast-paced luxury leather goods industry, implementing enterprise resource planning (ERP) systems like SAP is vital for streamlining operations and boosting efficiency. ERP systems integrate various business processes into a single platform, and SAP is a leading provider of these solutions, helping companies manage and optimize their resources effectively. This article explores the human management activities involved in implementing SAP at ATEPELI, a luxury leather components manufacturer within the world's largest luxury group.

ATEPELI's parent company has launched a global SAP implementation across all its *ateliers*. This initiative aims for more than just short-term gains - it seeks greater autonomy, reliability, adaptability, consistency, effective prioritization, process simplicity, improved quality, service responsiveness, and a clearer strategic vision. The group believes that future success hinges on predicting market changes and reacting swiftly.
The group owns three component *ateliers*: ATEPELI *Penafiel*, the first to implement SAP; an *atelier* in Romania, the second to adopt these changes; and ATEPELI *Ponte de Lima*, where this study is conducted. This *atelier* stands to benefit from the valuable lessons learned during these two previous SAP integrations.
The motivation behind this research is to facilitate a smooth transition for ATEPELI. Recognizing the complexities of ERP implementation, the study aims to present the human resources management activities employed by the company. The goal is to ensure a smooth shift to new ways of working, keeping employees engaged with the digital transformation, minimizing resistance to change, and benefiting from previous experiences.

1.2 The Company: ATEPELI – *Ateliers de Portugal*

ATEPELI is a leading company in the production of luxury leather goods and footwear components, founded in 2011 and integrated into one of the largest multinational groups in the sector, with a presence in over 80 countries. With three manufacturing units in Portugal, located in *Ponte de Lima*, *Penafiel*, and *Santa Maria da Feira*, ATEPELI stands out for its excellence and innovation.
The *atelier* in *Ponte de Lima* – Figure 1, located in *Calvelo*, has been the company's main operational centre since its inception, specializing — like the *Penafiel* unit, founded in 2018 — in the manufacture of high-quality leather goods components. Across its three ateliers, ATEPELI employs 1,184 people, each dedicated to ensuring the excellence and quality of products, from component assembly to manual cutting and sewing, using specialized techniques to meet customer requirements.



Figure 1 - ATEPELI: Exterior of the Ponte de Lima atelier

In 2021, ATEPELI expanded its operations by opening an atelier in Santa Maria da Feira, focused on the production of luxury footwear. This expansion reflects the company's vision to become a national and international leader in the sector, promoting values such as creativity, innovation, excellence, and entrepreneurial spirit.

2 Literature Review: The Importance of Human Management in a Digital Transition

The digital transformation of organisations, especially in traditional sectors like luxury leather goods ateliers, presents unique challenges and opportunities. Implementing sophisticated systems like SAP in such environments requires not only technological readiness but also a strong strategy for managing people. Digital literacy, as defined by Cetindamar Kozanoglu and Abedin (2021), includes the skills, knowledge, and abilities that employees need to effectively use digital technologies. This includes cognitive skills, social practices, and the ability to use digital tools in a work context. In the implementation of SAP in a luxury leather goods atelier, it is crucial that both artisans and administrative staff have high levels of digital literacy. Their ability to understand and use the new system directly impacts the success of the digital transformation. Viewing digital literacy not just as an individual skill but as an organisational ability that supports various work-related practices is essential. This perspective highlights the need for continuous learning and adaptation, which can be achieved through comprehensive human management strategies that develop employees' digital skills (Cetindamar Kozanoglu & Abedin, 2021).

The successful implementation of digital systems like SAP relies heavily on the organisational culture and the experiences of employees during the transition period. Westerman (2016) points out that “digital transformation needs a heart”, suggesting that poor management of digital initiatives can harm employee relationships and morale. This is particularly relevant in luxury leather goods ateliers, where the artisans’ craftsmanship and skills are deeply connected to the organisation's cultural heritage and identity. Integrating digital tools must respect and enhance the traditional skills and practices of artisans. This can be achieved by involving employees in the transformation process, ensuring they understand the benefits of the new system, and providing adequate training and support. As Dery, Sebastian, and van der Meulen (2017) note, employee connectedness and engagement are crucial for fostering a positive experience and encouraging the adoption of digital tools.
Strategic human resource management (HRM) plays a key role in the digital transformation of organisations. Organisations must equip their workforce with the necessary digital skills to achieve their technological goals (Cetindamar Kozanoglu & Abedin, 2021). In the context of SAP implementation in a luxury leather goods atelier, HRM strategies should focus on identifying skill gaps, providing targeted training programmes, and fostering an environment that encourages digital innovation. Several HRM practices can support digital transitions, including continuous professional development, collaborative learning environments, and integrating digital literacy into performance management systems (Bokek-Cohen, 2018) . These practices help ensure that employees are not only skilled in using new digital tools but also confident and motivated to embrace the changes.

Despite the clear benefits, the digital transformation of traditional sectors like luxury leather goods manufacturing faces several challenges. These include resistance to change, the complexity of integrating new technologies with existing practices, and the potential for digital overload among employees (Bawden & Robinson, 2009). To address these challenges, organisations should adopt a holistic approach that combines technological implementation with strong human management practices. Recommendations for effective human management in digital transitions include involving employees in the planning stages to ensure their concerns and suggestions are considered. Regular communication about the goals, progress, and benefits of the transformation can help reduce resistance and build trust. Developing comprehensive training programmes tailored to the specific needs and skill levels of different employee groups is essential. Hands-on training, workshops, and continuous learning opportunities can help employees gradually adapt to the new system. Supportive leadership is crucial, with leaders actively promoting the digital transformation and providing visible support to employees. By demonstrating commitment and understanding, leaders can inspire confidence and foster a culture of innovation. Implementing monitoring and feedback mechanisms is also important to track the progress of the digital transformation and gather employee feedback. This information can be used to make necessary adjustments and ensure the transition remains aligned with organisational goals and employee needs.

3. Implementing SAP

3.1. Introducing the Project "OneManuf"

Believing that today's consumer market demands both quality and prompt delivery, ATEPELI's mother group started a global project across all its ateliers. Formerly known as "Manufacturing 2020" and now called "One Manuf", this project aims to revolutionise their manufacturing processes to better meet customer needs.

The main objectives of "One Manuf" focus on three key goals:

- Speed: Reducing lead times significantly by accelerating the production cycle. The ambitious target is to cut dispatch times to Cergy (the group's main logistic centre) from 23 days to just 5 days.
- Simplicity: Streamlining operations by simplifying processes to ensure more efficient production without compromising quality.
- Efficiency: Promoting a collaborative environment across all stages of production to enhance overall efficiency and ensure each part of the manufacturing process works optimally.

At the heart of this initiative is the "Core Model", an innovative organisational framework designed to standardise manufacturing processes across all ateliers. This model increases safety and consistency in production and ensures a smooth workflow from receipt to dispatch through micro-planning checks, making sure all necessary components for assembling a product are available before starting manufacturing orders.

The integration of SAP system supports this Core Model by allowing meticulous stock control and fostering collaboration between ateliers and suppliers. This synergy enables precise management of inventory levels, effectively accommodating unforeseen demands. SAP also allows standardised labelling with digital delivery notes streamlines warehouse operations, ensuring quick placement into optimised storage solutions. Through the usage of this software, the leather cutting process is directly informed by consumption data from the previous 24 hours, reducing lag time and preparing new kits for assembly of products within two hours.

The implementation of SAP in the various ateliers is a lengthy process. It involves a project team from the group's headquarters who travel to each atelier, working with a local team from that atelier. The local team includes one or two representatives from each department. Together, both teams work for several months to adapt and tailor the system to the specific needs of each atelier.

The implementation of SAP at ATEPELI Ponte de Lima was the 19th in the group (Figure 2). Initially planned for 2020, the project was postponed to 2024 due to the pandemic. This delay ended up proving to be beneficial, as it allowed the team to learn from issues observed in other ateliers and ensure a smoother transition.

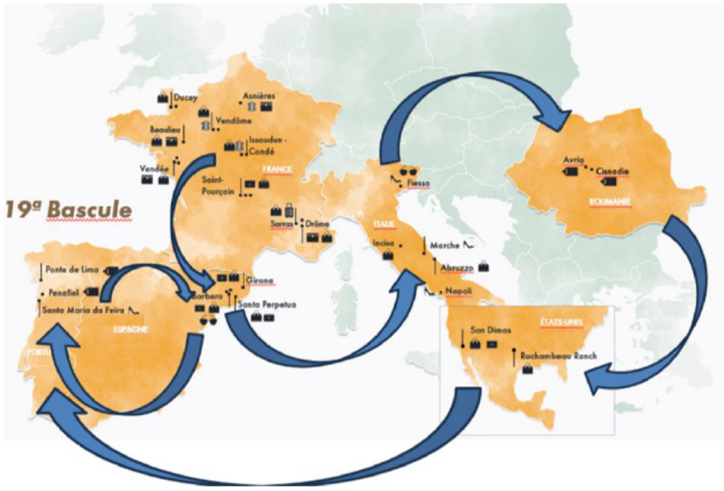


Figure 2 - Illustration of "One Manuf's" SAP implementation across all ateliers-

3.2. Human Management: Familiarising People with Change

As the Ponte de Lima atelier is ATEPELI's oldest manufacturing site, there are artisans who have been working with the company for 13 years, making drastic changes to their daily routines challenging to implement. ATEPELI believes that effective human management is crucial for successful digital transformation. With this in mind, ATEPELI invested significant time and resources in activities to familiarise all employees with the changes.

The main activities are described below:

1. Creation of Ponte de Lima's mascot:

Each atelier within the "One Manuf" initiative develops its own logo, which becomes the symbol of the project at that specific location. As part of its social responsibility initiatives, ATEPELI collaborated with a local association supporting people with disabilities in a workshop where artisans crafted paper dolls wearing traditional costumes from the Minho region (Figure 3). This activity was extended to all production lines and departments, which each built their own doll (Figure 4).



Figure 3 - Activity: Creation of the Mascot



Figure 4 - Example of the dolls built at the activity

Employees then voted for their favourite doll, and the winning design originated the mascot for “One Manuf” at Ponte de Lima, named "Minhota" (after the women from the Minho region – Figure 5).



Figure 5 - Final Mascot of the project: "Minhota"

2. Dynamic - Layout changes:

To address the challenge of layout alterations that came with the new LC building, a dynamic exercise was conducted with all artisans. This involved challenges and games designed to help them understand the logistical benefits of the new layout (Figure 6).



Figure 6 - Activity: Layout Changes

3. Inauguration of the LC building:

For the opening of the LC building, an inauguration activity, with all employees who were transferred to this new site, was upheld to celebrate the completion of this investment (Figure 7).



Figure 7 - LC building inauguration

4. Dynamic – Marketplace:

To help artisans understand how SAP would improve their daily routines, the forthcoming manufacturing flow, and the limitations of the software, a Marketplace dynamic was conducted with all employees at ATEPELI Ponte de Lima.

Using Legos, employees simulated the entire production flow from beginning to end, and the system's characteristics were discussed (Figure 8).



Figure 8 - Activity: Marketplace

3.3 System Implementation: Preparations, Training, and GoLive

In addition to the aforementioned activities, a laboratory was set up in the LC building for the system implementation. A computer was installed for each step of the production process, and a simulator warehouse was established. The entire flow was tested and simulated for weeks, allowing errors to be identified and prevented before the GoLive. To inaugurate this lab, an event was held with the project team to build excitement for the change (Figure 9).



Figure 9 - SAP Laboratory inauguration

In the weeks leading up to GoLive, preparations were made to manage the transition effectively. Each department had manuals developed by the project team on how to use the system, providing every team member with a support resource during the initial stages of software use. Additionally, training was provided to all members affected by the changes by the project team (Figure 10).

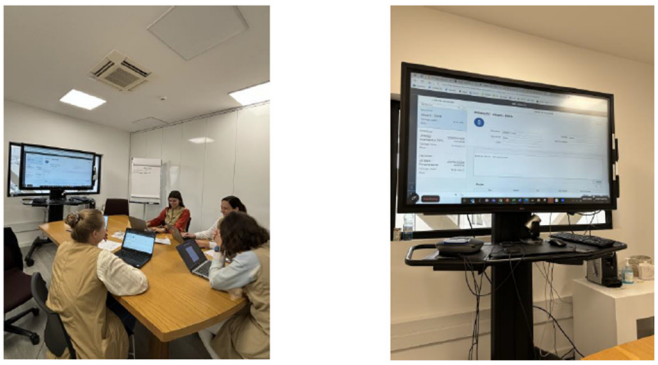


Figure 10 - SAP training sessions

To prepare for the launch of SAP, a complete inventory of the entire company (warehouse, production lines, and logistics department - expedition) was necessary. To ensure accuracy, two trial inventories were conducted before the final week of the project. During that week, production at the atelier was stopped on Thursday and Friday, and the logistics team, who had already conducted the trial inventories, performed the final inventory on Thursday. During these two days, only the project team was present at the atelier, preparing for the final launch on the following Monday. To keep the team motivated and focused despite the natural stress, various activities were organized, including games, sports, martial arts classes, and a barbecue lunch (Figure 11).



Figure 11 - Work and activities during the final days before the GoLive.

On Friday, the first production order was tested through the entire system, passing through every workstation in the manufacturing flow. Since no errors occurred and everything went according to plan, the first orders in SAP were dispatched, accompanied by one of the dolls created as part of the mascot development activity (Figure 12).



Figure 12 - First order dispatched using SAP

Finally, on Monday, the entire atelier went live with SAP. To mark the occasion, the company decorated the atelier with balloons, provided small project-related souvenirs to all employees, and organized a small activity to keep everyone engaged with the change. This celebration recognized the conclusion of an ambitious project that required significant time, resources, and a highly committed team (Figure 13).



Figure 13 - SAP GoLive celebration

4. Results and Discussion

The implementation of SAP at ATEPELI Ponte de Lima has demonstrated that significant investments in human management and employee engagement can yield positive results, even in a traditionally challenging sector. By involving every employee and focusing on their involvement and motivation, ATEPELI achieved a smooth and successful transition. The excitement and positive spirit generated by initiatives such as recreational activities and collaborative workshops helped foster a sense of optimism about the change, even among long-standing artisans.

The project's success was acknowledged by ATEPELI's international counterparts, highlighting the importance of maintaining employee motivation and engagement throughout the implementation process. The case of ATEPELI Ponte de Lima underscores that effective human management is crucial for the success of digital transformations, particularly in industries with deeply ingrained traditional practices.

References

Bawden, D., & Robinson, L. (2009). The dark side of information: overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Information Science*, *35*(2), 180–191. https://doi.org/10.1177/0165551508095781

Bokek-Cohen, Y. (2018). Conceptualizing employees' digital skills as signals delivered to employers. *International Journal of Organization Theory & Behavior*, *21*(1), 17–27. https://doi.org/10.1108/IJOTB-03-2018-003

Cetindamar Kozanoglu, D., & Abedin, B. (2021). Understanding the role of employees in digital transformation: conceptualization of digital literacy of employees as a multi-dimensional organizational affordance. *Journal of Enterprise Information Management*, *34*(6), 1649–1672. https://doi.org/10.1108/JEIM-01-2020-0010

Dery, K., Sebastian, I. M., & van der Meulen, N. (2017). The Digital Workplace Is Key to Digital Innovation. *MIS Quarterly Executive*, *16*(2). https://aisel.aisnet.org/misqe/vol16/iss2/4

Westerman, G. (2016). Digital transformation needs a heart. *MIT Sloan Management Review.* https://sloanreview.mit.edu/article/why-digital-transformation-needs-a-heart/

ID19
Sistema de Apoio à Decisão para a Avaliação de Fornecedores com Base em Práticas Sustentáveis

A. Morgado ([1]), B. Martins ([1]), D. Martins ([1]), T.M. Lima ([1,2]), P.D. Gaspar ([1,2])
angela.morgado@ubi.pt, beatriz.sousa.martins@ubi.pt, diogo.emanuel.dias.martins@ubi.pt, tmlima@ubi.pt, dinis@ubi.pt

([1]) Departamento de Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Portugal
([2]) C-MAST - Center for Mechanical and Aerospace Science and Technologies, Portugal

Resumo

Dada a crescente relevância atribuída à sustentabilidade é notória a necessidade de mudanças significativas na gestão da cadeia de abastecimento nas mais diversas indústrias, uma vez que estas representam uma significativa porção da economia de qualquer país. Em concordância, as empresas têm investido de forma progressiva na implementação de práticas sustentáveis em todas as etapas do processo produtivo, incluindo a gestão de compras, fabricação, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, logística e relação com o cliente.
Para tal é crucial a seleção de fornecedores sustentáveis tendo por base vários critérios, tais como o económico, o ambiental, o social e o de reconfiguração, e ainda subcritérios, como por exemplo o tempo de entrega, a certificação do Sistema de Eco Gestão e Auditoria (certificação EMAS), o material ou *design* utilizado na embalagem e a modularidade. Contrariamente, é necessário que a organização tenha capacidade para suportar todas as alterações associadas à seleção de fornecedores direta ou indiretamente ligados a práticas sustentáveis.
O objetivo deste estudo é analisar os métodos e critérios que poderão ser utilizados na criação de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), posteriormente utilizado pelas empresas para selecionar e eleger os seus fornecedores de forma otimizada e seguindo práticas logísticas sustentáveis. Para tal, foi desenvolvida uma ferramenta, simples e expedita, que permite ao utilizador inserir dados relativos à classificação dos critérios e subcritérios pré-estabelecidos, numa ficha de avaliação de fornecedores, para que os mesmos possam ser analisados e, posteriormente, comparados com outras empresas em *dashboards*.

Palavras-Chave: Sistema de Apoio à Decisão, práticas sustentáveis, *dashboards*, avaliação e seleção de fornecedores sustentáveis, critérios, subcritérios.

1. Introdução

Atualmente é fulcral que as empresas invistam constantemente na inovação e no seu desenvolvimento com o intuito de acompanhar e dar resposta às exigências do mercado, incluindo os requisitos a nível ambiental. Os desafios ambientais enfrentados pela indústria estão em constante crescimento devido às alterações na biodiversidade do planeta, bem como ao esgotamento de diversos recursos. Para tal, é muito importante ter conhecimento nos três pilares do desenvolvimento sustentável, nomeadamente no ambiente, na economia e na sociedade (Islam *et al.*, 2024). O conceito de sustentabilidade tem vindo a relevar-se adaptável às necessidades demonstradas de acordo com o contexto em causa, uma vez que este se define como a capacidade de satisfazer as necessidades existentes na atualidade sem colocar em risco as necessidades das gerações futuras (WCED, 1987). Portanto, é fundamental que as empresas tenham a capacidade de gerir a sua atividade com o objetivo de criar valor a longo prazo (UN, 2015).

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a Avaliação de Fornecedores com Base em Práticas Sustentáveis proposto neste artigo surge como uma ferramenta essencial para enquadrar e alinhar as operações das empresas com os princípios de sustentabilidade. Este sistema envolve a criação de um índice que permite a avaliação e a monitorização do desempenho dos fornecedores tendo em consideração os critérios ambientais, económicos, sociais e de reconfiguração. Ao integrar estes critérios na classificação de fornecedores das empresas é assegurado que os seus fornecedores contribuem para uma sustentabilidade global.
De modo a auxiliar a classificação de fornecedores na ótica da sustentabilidade foi desenvolvido um SAD no *software* Microsoft Excel.

O artigo encontra-se organizado em 4 capítulos. Seguinte a este capítulo introdutório que fundamenta a necessidade e as vantagens do SAD, é apresentado o enquadramento teórico do tema que fez parte da metodologia seguida para o desenvolvimento do SAD que se encontra descrita no capítulo 3. Na segunda fase da metodologia seguida foi realizado o desenvolvimento do SAD. Para exemplificar a aplicação e os resultados do SAD, é apresentado um estudo de caso no capítulo 4. De seguida são apresentadas as conclusões do estudo.

2. Enquadramento teórico

Atualmente, é notório que, na sociedade, a produção e a respetiva distribuição ocorrem em grande escala. De tal modo, é fundamental consciencializar os consumidores a adotar práticas sustentáveis que reduzam o consumo de recursos naturais não renováveis e promovam a sustentabilidade. Com esta finalidade, a ONU definiu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a obtenção de um mundo mais ecológico e justo, focado em padrões de produção e de consumo mais sustentáveis, promovendo uma minimização dos impactes ambientais (Islam *et al.*, 2024; UN, 2015). Os ODS promovem o crescimento sustentável, que facilita a transição para uma economia circular de sistemas de consumo, e a produção linear, facilitando a procura e a oferta na distribuição de materiais e resíduos. O ODS 12, Produção e Consumo Sustentável, tem como objetivo obter padrões sustentáveis até 2030 considerando diversos indicadores tais como como a utilização eficiente de recursos, a redução dos desperdícios e a maximização dos benefícios económicos e sociais. Outro dos indicadores deste ODS passa pela redução para metade do desperdício de resíduos até ao ano de 2030. Além disso, o ODS 12 tem como propósito alcançar até 2030 a gestão ambiental de produtos químicos e resíduos ao longo do seu ciclo de vida. As empresas de grande dimensão são também incentivadas a adotar estas práticas e a integrar o fator sustentabilidade nos seus relatórios de atividade (https://ods.pt).

A consciencialização por parte dos consumidores tem vindo a aumentar devido à forte pressão ambiental, por consequência, as empresas têm demonstrado uma maior preocupação e interesse em reduzir os seus impactes ambientais. Assim sendo, é importante implementar sistemas de consideração ambiental ao longo de todo o processo, isto é, desde a gestão da cadeia de abastecimento até à reciclagem ou reutilização. Adicionalmente, a aceitação e a colaboração entre fornecedores, clientes e todos os envolvidos no processo logístico são essenciais para a tomada de decisões relacionadas com inovações ecológicas, testes a novos materiais, parcerias sustentáveis e controlo do impacte ambiental (Leal-Millán, *et al.*, 2023; Islam *et al.*, 2024).
No entanto, esta implementação apresenta barreiras tanto internas como externas, como os custos associados, a falta de sensibilização, a resistência a mudanças, a falta de regulamentação e a complexidade na colaboração entre as diversas entidades (Leal-Millán, *et al.*, 2023; Schöggl *et al.*, 2024).

Os objetivos ou metas que não se enquadram completamente nas preocupações mencionadas anteriormente são, por exemplo, a *Triple Bottom Line*, em português denominada de Tripé da Sustentabilidade, que se encarrega de fatores sociais, ambientais e financeiros, e a política dos 8 M′s, proveniente do inglês *man*, *machine*, *materials*, *methods*, *money*, *measurement*, *market* e *motivation* (em português: homem, máquina, materiais, métodos, dinheiro, medição, mercado e motivação). Estas 8 variáveis têm uma grande influência em qualquer indústria que tenha como objetivo implementar práticas sustentáveis (Islam *et al.*, 2024).
Por outro lado, as práticas de *Green Supply Chain Management Practices* (GSCMP) têm como objetivo reduzir os resíduos na cadeia de abastecimento, mantendo a vantagem competitiva e atraindo clientes sustentáveis (Leal-Millán, *et al.*, 2023).
Como mencionado anteriormente, tem-se verificado nos últimos anos um aumento significativo no interesse por uma avaliação e seleção de fornecedores sustentáveis. Para tal, podem ser considerados os métodos baseados na análise de decisão multicritério que permitem recolher dados sobre os vários fornecedores em análise e avaliá-los segundo múltiplos critérios em simultâneo (Khulud *et al.*, 2023). Essa análise permite uma tomada de decisão mais eficiente e eficaz, promovendo a otimização dos custos, a melhoria da qualidade dos produtos, o aumento da satisfação dos clientes e a redução da pegada ecológica.

3. Metodologia

O desenvolvimento desta ferramenta tem como objetivo a seleção de fornecedores sustentáveis e a definição dos critérios que as podem resolver. As questões que se pretendem responder são:

- Quais os critérios que apresentam maior destaque para as empresas?
- Qual o critério que tem mais impacto em termos do desenvolvimento sustentável?
- As empresas portuguesas integram na sua seleção de fornecedores as preocupações de inovação e sustentabilidade?

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do método de avaliação de fornecedores sustentáveis através da apresentação da caracterização da investigação efetuada e das etapas desenvolvidas durante o estudo.
A investigação realizada foi de caráter exploratório (qualitativo) com o objetivo de promover o conhecimento sobre o desenvolvimento de SAD, em especial quanto aos seus procedimentos de investigação (estudo de caso, pesquisa bibliográfica, etc.).
A investigação foi aplicada através dos conhecimentos adquiridos no desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, no *software* Microsoft Excel, que auxilia os gestores das empresas na seleção do fornecedor ideal.
Os critérios e subcritérios derivaram de outros modelos multicritério para seleção de fornecedores presentes em artigos das bases de dados científicas *Web of Science* e *Scopus*.
Numa segunda etapa, foi desenvolvida uma ficha de avaliação de fornecedores e *dashboards*, tendo em consideração os critérios económicos, sociais, ambientais e de reconfiguração, assim como os respetivos subcritérios.
A ferramenta desenvolvida permite ao utilizador avaliar os fornecedores segundo os critérios e subcritérios pré-estabelecidos, adicionar várias restrições e, no final, analisar diversos fornecedores em conjunto.

4. Estudo de caso

Inicialmente, foi importante proceder à recolha e análise das práticas dos fornecedores segundo os critérios pré-definidos. O questionário desenvolvido para o efeito tem como objetivo identificar os critérios que os fornecedores de matérias-primas consideram mais importantes, tendo em atenção o setor de atividade em que estão inseridos.
Quando o avaliador selecionar o setor de atividade ou o nome do fornecedor através da segmentação de dados, presente nas *dashboards,* o sistema apresenta automaticamente valores para as empresas, presentes na base de dados, tendo em consideração as restrições impostas pelo utilizador.

4.1. Critérios e subcritérios

Inicialmente, foi necessário definir os critérios e subcritérios mais relevantes, sendo selecionados quatro critérios subjacentes a diversos subcritérios.
O critério económico, relacionado com o índice de classificação de fornecedores na adoção de práticas sustentáveis, tem em atenção aspetos como automatização, custos totais de matéria-prima, custo de devolução e custo de produção.
O critério ambiental pretende avaliar se o fornecedor cumpre as leis e regulamentos ambientais relevantes em todas as suas operações. Para classificar este critério, é necessário ter em atenção alguns subcritérios, tais como a percentagem mínima do material reciclado, a parceria entre empresas, a regularidade das auditorias internas, a certificação EMAS e o investimento em tecnologias mais sustentáveis.
O critério social analisa se o fornecedor valoriza aspetos ligados às comunidades locais e à responsabilidade social da empresa. São considerados como subcritérios as condições de trabalho, os direitos humanos, a melhoria da qualidade, a confiança entre o fornecedor e o cliente, as preferências dos clientes, o método de entrega e a embalagem utilizada.
O critério de reconfiguração pretende avaliar se o fornecedor se consegue adaptar e ajustar às necessidades e procura do mercado, sendo estes cruciais para setores que estão em constante evolução. Neste critério fazem parte os subcritérios de modularidade, convertibilidade, personalização, diagnóstico de problemas e integração de processos. Na Tabela 1 é apresentada uma descrição dos critérios e mais especificamente dos respetivos subcritérios.

Tabela 1 - Critérios e Subcritérios: Económico, Ambiental, Social e de Reconfiguração (1/2).

	SUBCRITÉRIO	DESCRIÇÃO
CRITÉRIO ECONÓMICO	Automatização	Aspetos financeiros e de eficiência relacionados com a implementação de sistemas automatizados em processos industriais.
	Custo de devolução	Custos de transporte associados ao retorno de um produto do cliente para o produtor.
	Custo de produção	Despesas relativas à fabricação do produto na sua totalidade.
	Custo das matérias-primas	Parte significativa do custo de produção referente ao custo de obtenção das matérias-primas.
	Tempo de entrega	Período entre a receção da encomenda e a entrega ao cliente.
CRITÉRIO AMBIENTAL	Percentagem mínima de material reciclado no produto	Utilização de recursos naturais e reciclados com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários.
	Parcerias entre empresas	Colaborações estratégicas estabelecidas de modo a atingir objetivos em comum, como por exemplo o desenvolvimento, a expansão e a eficiência.
	Auditorias internas regulares	Revisão e avaliação das operações e controlo das práticas ambientais aplicadas.
	Certificação EMAS	Sistema de Eco gestão e Auditoria com objetivo de melhorar a performance ambiental e financeira das organizações.
	Investimento em tecnologias mais sustentáveis	Adoção de tecnologias que providenciam o aumento da eficiência energética e a diminuição do consumo de recursos naturais.
CRITÉRIO SOCIAL	Direitos Humanos	Fatores que consideram o direito à negociação coletiva, à abolição do trabalho infantil e à ausência da discriminação ou trabalho forçado.
	Melhoria de Qualidade	Práticas de gestão da qualidade total que afetam os aspetos interiores e exteriores à empresa.
	Confiança entre o cliente e o fornecedor	Promoção de padrões transparentes, valorização dos compromissos e comunicação aberta.
	Preferência do cliente	Reconhecimento da qualidade do produto, assistência pós-venda, ética empresarial, entre outros.
	Método de entrega e embalagem utilizada	Embalagens com Eco-Design e materiais Eco-Friendly, redução do uso de embalagens e práticas de logística ecológica.
CRITÉRIO DE RECONFIGURAÇÃO	Modularidade	Capacidade de adaptação a mudanças na procura, exigências do cliente, evoluções de mercado, entre outras.
	Convertibilidade	Capacidade de o produto ser convertido de modo a realizar funções e tarefas distintas.
	Personalização	Capacidade de o produto ser modificado de acordo com as preferências e exigências do cliente.
	Diagnóstico de problemas	Identificação de possíveis falhas que possam ocorrer ao longo do processo produtivo, possibilitando a implementação de ações corretivas eficazes.
	Integração de processos	Coordenação e compatibilização de diferentes etapas ou operações do processo, podendo incluir a tecnologia, fluxos de trabalho e sistemas de informação de forma mais eficaz.

4.2. Ficha de Avaliação de Fornecedores

A ficha de avaliação deve ser enviada para todos os fornecedores que a empresa pretenda avaliar, para que posteriormente possa ver efetuada a sua análise gráfica, tendo em consideração todos os critérios e subcritérios.
A ficha de avaliação presente na Tabela 2 foi criada para permitir à organização avaliar os seus fornecedores pela quantificação dos critérios e respetivos subcritérios numa escala de 1 a 5, de "irrelevante" até "muito relevante", respetivamente. Para otimizar a eficiência da avaliação automatizou-se o processo através de uma macro no *software* Microsoft Excel que, após a inserção dos dados, permite o seu armazenamento numa base de dados. Para o preenchimento da ficha de avaliação, o primeiro passo passa por inserir a identificação do fornecedor com o respetivo nome, setor de atividade, contacto telefónico, morada (ou distrito) e capabilidade.

Tabela 2 - Ficha de avaliação de fornecedores

	FICHA DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES			
Identificação do fornecedor				
Nome:	A			
Setor de atividade:	Automóvel			
Contacto telefónico:	xxx xxx xxx			
Distrito:	Castelo Branco			
Capabilidade:	1,66	Valor Aceite		
Avaliação por critérios				
Critério Económico	5			
Subcritérios Económicos				
Automatização	Custo de devolução	Custo de Produção	Custo das Matérias-Primas	Tempo de entrega
5	5	5	5	3
Critério Ambiental	3			
Subcritérios Ambientais				
Percentagem mínima de material reciclado no produto	Parceria entre empresas	Auditorias internas regulares	Certificação EMAS	Investimento em tecnologias mais sustentáveis
4	3	4	5	5
Critério Social	4			
Subcritérios Sociais				
Direitos Humanos	Melhoria da qualidade	Confiança entre o cliente e o fornecedor	Preferência do cliente	Método de entrega e embalagem utilizada
4	4	4	4	4
Critério de Reconfiguração	3			
Subcritérios de Reconfiguração				
Modularidade	Convertibilidade	Personalização	Diagnóstico de Problemas	Integração de Processos
3	3	5	5	5
Identificação do avaliador				
Nome:	Diogo			
Data:	19/05/2022			
Guardar				**Limpar**

A capabilidade de um processo é uma medida estatística que avalia a capacidade de um processo de produção em gerar produtos dentro dos limites de especificação. Este valor considera tanto a dispersão do processo quanto a sua centragem em relação aos limites de especificação, isto é, quanto maior o valor da capabilidade, mais centrado e preciso se encontra o processo, sendo produzidas peças que consistentemente atendem às especificações. A capabilidade tem valores mínimos, dependendo do setor de atividade. Como exemplo, nos setores automóvel e aeronáutico é necessário um valor mínimo de 1,66 ou superior a 1,66, respetivamente. Os restantes setores requerem um valor mínimo de 1,33 (AIAG, 2009). Caso o utilizador insira uma capabilidade inferior aos valores referidos anteriormente aparecerá na célula à direita "Valor Não Aceite". É ainda de realçar que caso o utilizador tente efetuar a gravação dos dados inseridos, com uma capabilidade inválida, aparece uma mensagem de erro, impossibilitando que esses valores entrem na base de dados. Após inserir todos os valores nos respetivos espaços dos critérios e subcritérios, assim como o nome do avaliador e a data em que foi preenchido o relatório, clica-se no botão "Guardar", ou no atalho "CTRL + g". Após guardar os dados pode-se ainda limpar todas as células clicando no botão "Limpar" ou no atalho "CTRL + l".

4.3. Método de análise de dados

Finalizada a recolha dos dados é necessário efetuar a análise e interpretação dos mesmos. Para se atingir estes objetivos, foram utilizadas duas *dashboards* desenvolvidas no *software* Microsoft Excel, a fim de ajudar na avaliação dos fornecedores segundo, respetivamente, os critérios ou os subcritérios referidos anteriormente. Em ambas as *dashboards* existe um botão que permite atualizar as bases de dados e os respetivos gráficos. Além disso, caso se pretenda atualizar apenas os gráficos das *dashboards* existem dois atalhos: "CTRL + q" (relativo à *dashboard* de análise geral dos critérios) e "CTRL + w" (relativo à *dashboard* de análise dos subcritérios).
A *dashboard* de análise geral dos critérios foi desenvolvida para comparar os fornecedores de acordo com os quatro principais critérios (económico, ambiental, social e de reconfiguração), conforme apresentado na Figura 1. É ainda de realçar que é possível definir o período temporal para análise, o nome do fornecedor, o setor de atividade e o distrito fornecedor. É ainda apresentado um gráfico de barras com o intuito de comparar os valores que cada fornecedor inseriu segundo os critérios e um gráfico circular que permite comparar o valor da capabilidade por setor de atividade.

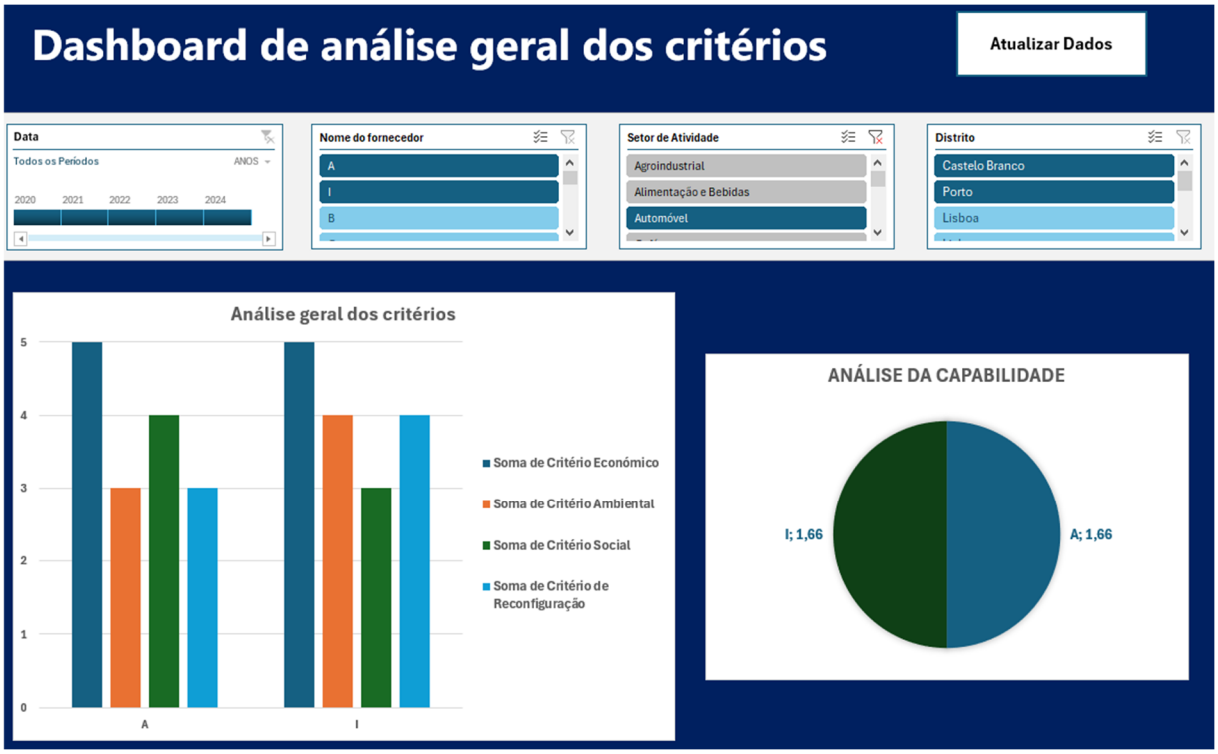


Figura 1 - Dashboard de análise geral dos critérios

Através da análise da Figura 1, é possível afirmar que os fornecedores A e I valorizam de igual modo o critério económico, porém o fornecedor I valoriza mais o critério ambiental que o fornecedor A. Neste caso, ambos pertencem ao setor automóvel, apesar de estarem localizados em distritos diferentes. Para a monitorização dos resultados desta *dashboard* é essencial reavaliar os fornecedores periodicamente, garantindo que os mesmos continuam a responder aos padrões de sustentabilidade.
A *dashboard* de análise dos subcritérios permite comparar os fornecedores utilizando subcritérios específicos, conforme se ilustra na Figura 2, tais como o custo das matérias-primas, a preferência do cliente, a certificação EMAS, a integração de processos, entre outros.
Para tal, esta *dashboard* inclui gráficos de colunas que permitem comparar os fornecedores em cada subcritério e analisar quais são os subcritérios que registam um nível de relevância superior. A sua análise detalhada permite uma visão detalhada do desempenho dos fornecedores com o intuito de identificar os pontos fortes e as áreas de melhoria.
O SAD desenvolvido auxilia as empresas na comparação dos seus fornecedores, que apresentem fatores semelhantes, de forma mais eficiente e eficaz. Dentro de cada categoria são classificados os fornecedores de acordo com a sua pontuação nos diversos critérios e subcritérios, permitindo a rápida identificação das empresas fornecedoras líderes em sustentabilidade.

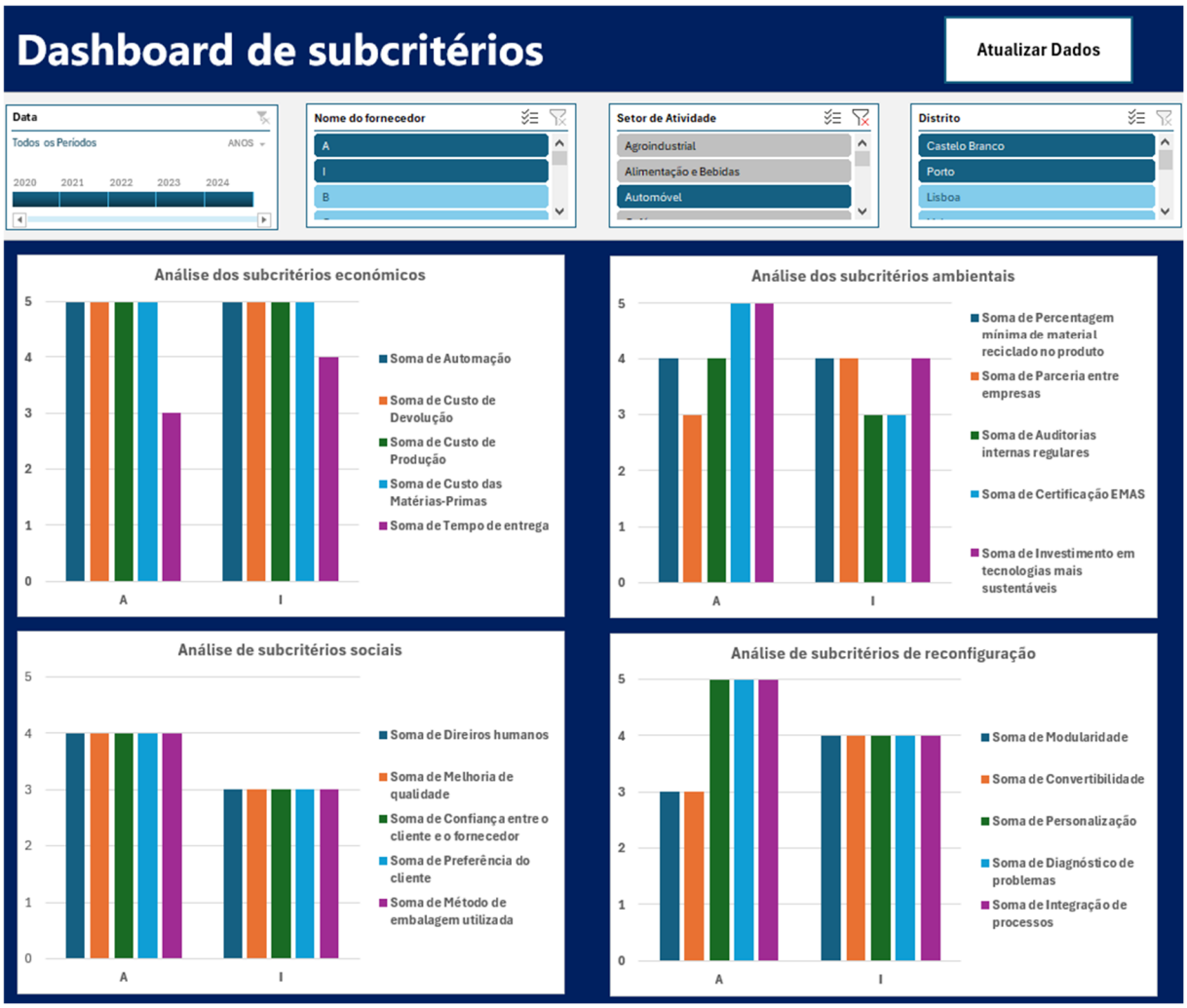


Figura 2 - Dashboard de análise dos subcritérios

5. Conclusão

Escolher um fornecedor, dentro de todos os que estão no mercado atualmente, não é uma tarefa fácil e tem em consideração vários aspetos em simultâneo, uma vez que se pretende escolher aqueles que mais se adequam à política da empresa. Estas condições estão muito ligadas ao preço que a empresa está disposta a pagar pelo serviço, assim como o seu tempo de realização, mas também as práticas sustentáveis que os seus fornecedores praticam.
De modo a facilitar o processo de seleção de fornecedores, foi desenvolvido um SAD que permite avaliar os fornecedores que se destacam tendo em consideração a adoção de práticas sustentáveis.
Ao longo do estudo foi desenvolvida uma metodologia detalhada para a seleção de fornecedores abrangendo a definição de critérios e subcritérios relativos à adoção de práticas sustentáveis, incluindo a redução da poluição, do impacte ambiental, da preferência do cliente, entre outros.

A adoção de práticas sustentáveis traz muitas vantagens ao nível da competitividade, designadamente através da redução dos custos operacionais, da melhoria da eficiência energética, da minimização dos impactes ambientais e da valorização de condições de trabalho dignas e seguras. Por consequência, o futuro dos negócios está dependente da sustentabilidade devido à pressão dos consumidores, às exigências dos governos e às regulamentações mundiais. As empresas que demonstrem um compromisso com práticas sustentáveis estarão melhor posicionadas no desenvolvimento do seu negócio e, além disso, conseguirão desempenhar um papel significativo na construção de um futuro mais equilibrado e próspero para as gerações atuais e futuras.

Algumas melhorias podem ser introduzidas no SAD desenvolvido, como por exemplo o desenvolvimento de *dashboards* em Power BI, para facilitar a análise gráfica dos dados, ou a criação de uma base de dados em Microsoft Access com um nível superior de segurança, espaço de armazenamento e que permita a inserção de dados por vários utilizadores ao mesmo tempo. Outra proposta de melhoria seria a introdução de novas segmentações de dados, a fim de melhorar a interatividade do SAD, tornando-o ainda com mais potencial para a tomada de decisão. A implementação de uma segmentação de dados que permita selecionar valores mínimos para cada critério ou subcritério iria reduzir significativamente a quantidade de dados nas *dashboards*, favorecendo a visualização dos fornecedores que cumpram com as restrições introduzidas pelo utilizador.

Referências

AIAG (2009). Production Part Approval Process (PPAP), 4th edition. Automotive Industry Action Group (AIAG), Southfield: USA.

Islam, Md Shamimul, Md., Islam, M.S., Khan, T., Akhter, R., Rahman, S.M., Ara, H., Thurasamy, R., Hoque, I. (2024) 'Umbrella review in Green Supply Chain Management (GSCM): Developing models for adoption and sustaining GSCM', Environmental Challenges, 14. Available at: https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100820.

Khulud, K., Masudin, I., Zulfikarijah, F., Restuputri, D.P., Haris, A. (2023) 'Sustainable Supplier Selection through Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approach: A Bibliometric Analysis', Logistics, 7(4). Available at: https://doi.org/10.3390/logistics7040096.

Leal-Millán, A., Guadix-Martín, J., Criado García-Legaz, F. (2023) 'From networking orientation to green image: A sequential journey through relationship learning capability and green supply chain management practices. Evidence from the automotive industry', Technological Forecasting and Social Change, 192. Available at: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122569.

Schöggl, J.-P., Baumgartner, R.J., O'Reilly, C.J., Bouchouireb, H., Göransson, P. (2024) 'Barriers to sustainable and circular product design – A theoretical and empirical prioritisation in the European automotive industry', Journal of Cleaner Production, 434. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140250.

UN (2015). Transforming Our World The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015, United Nations (UN), 42809, 1-13.

WCED. (1987). Brundtland Report - Report of the world commission on environment and development: our common future. World Commission on Environment and Development (WCED), New York: United Nations. http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf

ID20
Implementação de Metodologias *Lean* na Requisição de Material: Redução de Desperdícios e Melhoria de Processos

M. Inácio ([1]), V. Anes ([1,2,3]), A. Abreu ([1,3])
A36949@alunos.isel.pt, vitor.anes@isel.pt, antonio.abreu@isel.pt

([1]) DEM-ISEL, Polytechnic University of Lisbon, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1959-007, Lisboa, Portugal
([2]) IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal
([3]) UnIRE, ISEL, Polytechnic University of Lisbon, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1959-007, Lisboa, Portugal

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar e analisar a aplicação de metodologias *Lean* no processo interno de aquisição de materiais de uma empresa, de forma a reduzir o desperdício e melhorar a eficiência operacional. Foram identificadas uma série de deficiências nas melhores práticas e no seu impacto, nomeadamente redundâncias no atual processo de aquisição de materiais que causam elevado nível de retrabalho e levam a ineficiências e consumo excessivo de recursos. Processos ineficientes que levam a paragens significativas em todo o processo, impactando a eficiência e os cronogramas de aquisição de materiais, afetando a eficiência global e causando problemas operacionais. Atrasos na prestação de serviços que impactam negativamente as operações e oportunidades de negócio da empresa. De forma a mitigar ou eliminar as deficiências identificadas, foram realizadas as seguintes tarefas: (1) Realizar uma análise detalhada do atual processo de compras internas e criar um modelo de simulação para testar vários cenários de melhoria. (2) Identificar e analisar períodos de inatividade (tempos mortos) através da aplicação da técnica VSM (*Value Stream Mapping*) com o objetivo de visualizar e compreender áreas com potencial para melhorar a eficiência dos processos; (3) Desenvolver uma simulação para um processo mais digitalizado que permita uma comparação com o processo existente; (4) Realizar um estudo de viabilidade para a implementação do novo processo digitalizado. Os resultados mostram que as sugestões de melhoria propostas irão melhorar a eficiência do processo, o que terá um impacto positivo na empresa.

Palavras-Chave: Aquisição de materiais; processos industriais, *Lean*, redução de desperdícios, digitalização, simulação

1. Introdução

Num contexto empresarial cada vez mais competitivo e globalizado, as organizações estão a direcionar os seus esforços para áreas estratégicas como a sustentabilidade, digitalização, e Indústria 4.0. A implementação de metodologias *Lean* na indústria é amplamente reconhecida como uma estratégia eficaz para reduzir desperdícios e otimizar processos produtivos sendo esta estratégia muito importante no contexto do novo direcionamento adotado pela indústria. O termo *Lean Production*, ou "Produção magra" em português, foi utilizado a primeira vez por John Krafcik em 1988 (Holweg, 2007). Este conceito baseia-se num sistema, entendendo-se que "um sistema é um conjunto de elementos interligados que estão organizados de maneira coerente para alcançar um objetivo" (Meadows, 2009), onde as metodologias *Lean* são aplicadas tornando o sistema produtivo mais eficiente e com menos desperdício, oferecendo uma vantagem competitiva significativa através do aumento da produtividade resultante da identificação e eliminação de desperdícios (Odebrecht de Souza et al., 2022). Assim, a filosofia *Lean Production* adota uma abordagem sistémica, onde todos os elementos da produção estão interligados e organizados de forma coerente para alcançar um objetivo comum. Esta visão holística é crucial para entender e otimizar o desempenho geral de um sistema produtivo (Dennis, 2008). A aplicação das metodologias *Lean* envolve a utilização de ferramentas como o Value Stream Mapping (VSM), que ajuda a visualizar e analisar o fluxo de valor dentro da organização, identificando e eliminando desperdícios (Romero & Arce, 2017) e também a simulação de cenários produtivos, sendo a simulação uma ferramenta fundamental para otimizar processos sem criar disrupção na produção real e sem sem realizar investimentos. Utilizando softwares como o Arena, as empresas podem criar modelos virtuais para identificar gargalos, testar cenários e melhorar a eficiência dos processos (de Paula Ferreira et al., 2020). Além disso, conceitos financeiros como o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Retorno do Investimento (PRI) são importantes para avaliar a viabilidade e rentabilidade de investimentos. O VAL avalia a rentabilidade de um investimento descontando todos os fluxos de caixa futuros esperados a uma taxa de desconto específica, sendo um VAL positivo um indicador de valor adicional (Brealey et

al., 2023). A TIR mede a taxa percentual de retorno onde o VAL é zero, representando a taxa de desconto que equilibra os fluxos de caixa futuros com o investimento inicial (Ross et al., 2022). O PRI determina o tempo necessário para recuperar o investimento inicial a partir dos fluxos de caixa líquidos gerados pelo projeto, marcando o ponto onde o investimento começa a gerar lucro (Lefley, 1996). Este artigo explora de forma holística as vantagens da abordagem *Lean Production* aplicada ao processo de requisições internas de uma empresa. A metodologia de investigação baseia-se num caso de estudo onde um conjunto de hipóteses de melhoria na redução do desperdício são desenvolvidas e posteriormente validadas com o recurso à simulação em arena e análise económico financeira.

2. Caso de estudo

Descrição do Problema Industrial: A empresa em estudo, uma PME na Grande Lisboa, especializa-se na manutenção e reparação de máquinas industriais, além de alugá-las e fabricar acessórios. O problema central reside na ineficiência do processo de requisição interna, que abrange desde a solicitação até a encomenda ao fornecedor. Este processo é caracterizado pela sua complexidade, muitos intervenientes e grande dependência de documentação em papel, resultando em atrasos, perdas de produtividade e possíveis perdas de novos trabalhos devido à ocupação prolongada da oficina por equipamentos em reparação.

Impacto do Problema: A ineficiência do processo de requisição interna causa vários impactos negativos na empresa. Primeiro, provoca atrasos na conclusão das reparações, podendo levar à insatisfação dos clientes e à perda de contratos futuros. Segundo, a ocupação prolongada do espaço na oficina reduz a capacidade operacional da empresa, limitando o número de máquinas que podem ser reparadas em simultâneo. Este gargalo operacional impede a empresa de aumentar sua faturação e de responder eficazmente às demandas do mercado.

Benefícios da Resolução do Problema: A resolução deste problema pode trazer benefícios significativos:

- Redução dos tempos de ciclo: A simplificação e digitalização do processo de requisição podem reduzir significativamente os tempos de ciclo, permitindo concluir reparações mais rapidamente.
- Aumento da capacidade operacional: A libertação mais rápida do espaço na oficina permite aumentar a capacidade operacional, possibilitando reparar mais máquinas simultaneamente.
- Melhoria da satisfação do cliente: A redução dos tempos de reparação e a melhoria da eficiência do serviço podem resultar em maior satisfação dos clientes, fidelização e novos contratos.
- Redução de custos operacionais: A eliminação de desperdícios e a melhoria da eficiência podem levar a uma redução significativa dos custos operacionais, aumentando a margem de lucro da empresa.
- Apoio à melhoria contínua: Um sistema mais eficiente facilita a identificação de novas áreas para melhorias contínuas, alinhando-se com os princípios das metodologias *Lean*.

Em suma, abordar de forma holística a ineficiência no processo de requisição interna não só resolverá problemas imediatos de atrasos e capacidade, mas também proporcionará uma base sólida para o crescimento sustentável e a competitividade da empresa no mercado industrial.

3. Hipóteses de melhoria

Ao analisar o procedimento atual de compras da empresa, e o mesmo ser simulado com recurso ao software Arena, ver Figura 1, foram propostas três hipóteses de melhoria.

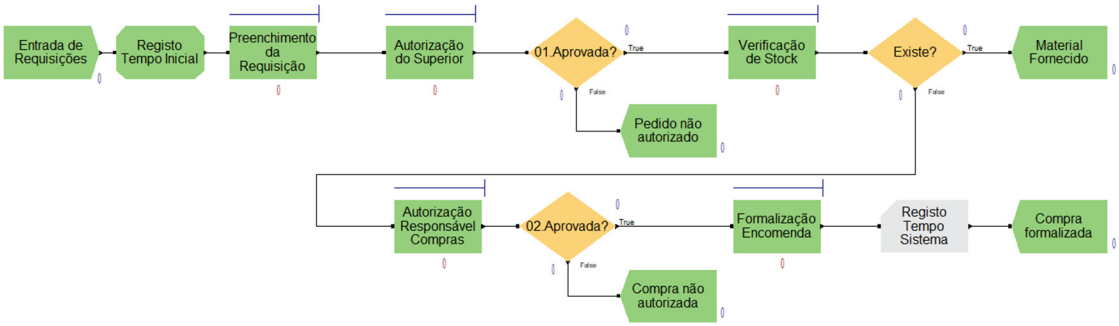


Figura 1 – Fluxo do processo de requisições atual da empresa, em Arena

3.1. Hipótese de melhoria 1

Propõe-se, para a primeira hipótese do processo de melhoria da gestão de requisições e compras na empresa, o recurso á Padronização, através da implementação de horários específicos para a aprovação das requisições, com o objetivo de reduzir a variabilidade e a dispersão ao longo do dia e otimizar o fluxo de trabalho. Nesta hipótese, parte-se do pressuposto de que ao condensar as requisições em horários específicos, e adotando uma abordagem *Kaizen* de melhoria contínua, facilitará o planeamento e a execução das atividades da secção de compras, considerando a simplificação do processo ao eliminar variações na procura de requisições e situações de urgência. Assim, os requisitantes colocariam as suas requisições no gabinete do superior, que ficaria encarregue de verificar e determinar quais seguem o processo estabelecido. Os horários para autorizações seriam estabelecidos às 10h e às 15h, para as encomendas, por sua vez, seriam os horários das 11h e das 16h, possibilitando a coordenação eficiente da recolha do material em stock no fornecedor com o estafeta, além do processamento de todas as encomendas dentro do período estipulado. Recorrendo à abordagem *Heijunka*, ira-se simplificar o processo, reduzindo o número de encomendas aos fornecedores, agregando diferentes requisições para o mesmo fornecedor e gerando apenas uma encomenda, nivelando a emissão de encomendas e minimizando as flutuações na procura. Isso permitiria que cada interveniente na cadeia de autorizações ajustasse as suas responsabilidades de acordo com os horários estabelecidos, promovendo uma gestão mais eficaz do tempo, minimizando interrupções nas atividades dos intervenientes e otimizando não apenas o processo de compras, mas também a gestão do trabalho ao longo do dia.

Para uma implementação bem-sucedida desta abordagem, será crucial realizar uma comunicação eficaz e fornecer formação adequada aos colaboradores sobre os objetivos e benefícios desta mudança, destacando a importância da adesão aos horários estabelecidos. Este constitui o principal desafio da implementação deste cenário. Além disso, será fundamental estabelecer procedimentos claros para lidar com situações de urgência fora dos horários regulares, garantindo que as respostas rápidas não comprometam a eficiência do processo. Será igualmente importante monitorizar regularmente o cumprimento dos horários estabelecidos e recolher feedback dos colaboradores para identificar eventuais pontos de melhoria e garantir a sustentabilidade da abordagem ao longo do tempo.

Embora esta hipótese aborde alguns dos desafios mencionados anteriormente, como a dispersão de requisições ao longo do dia, ainda existem questões relacionadas ao retrabalho e à gestão do processo que precisam ser consideradas. No entanto, espera-se alcançar melhorias na eficiência operacional do processo com a implementação desta primeira hipótese.

Para a implementação destas alterações, o investimento seria baixo, uma vez que apenas seria necessário informar os colaboradores do novo procedimento e designar os superiores como responsáveis pela verificação do mesmo.

3.2. Hipótese de melhoria 2

Na segunda hipótese do processo de otimização das requisições na empresa, avança-se para a digitalização do processo de requisições, implementando um sistema que permitirá aos colaboradores submeterem as suas requisições através de uma plataforma digital. Esta medida, alinhada com os princípios da Indústria 4.0, visa modernizar o processo e aumentar a sua eficiência global, simplificando a sua implementação ao realizá-la de forma gradual e definindo critérios claros para aprovações automáticas, utilizando assim ferramentas *Lean* para a simplificação e padronização do processo.

Um exemplo prático desses critérios seria estabelecer aprovações automáticas para pedidos de material destinado a revisões programadas de equipamentos, nos quais o material necessário é sempre o mesmo em todas as revisões do mesmo tipo, promovendo assim a padronização e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Além disso, a digitalização do processo trará benefícios tangíveis, como a redução do tempo necessário para a conclusão das requisições e do retrabalho. Por exemplo, o fiel de armazém e o colaborador das compras receberão diretamente a lista de material a pedir no software, eliminando a necessidade de inseri-lo manualmente novamente, o que aumentará a eficiência operacional, integrando tecnologias da Indústria 4.0 para automação e melhoria de processos.

Adicionalmente, serão estabelecidos mecanismos de notificação para os supervisores aprovarem as requisições pendentes nos mesmos horários definidos na primeira hipótese, mantendo as vantagens enumeradas no ponto anterior e promovendo o nivelamento de produção (*Heijunka*). O supervisor terá visibilidade em tempo real sobre as requisições pendentes, possibilitando uma rápida tomada de decisão e reduzindo os tempos de espera.

Na mesma linha, será definida uma escala de valor monetário para as requisições, simplificando o processo de aprovação e eliminando gargalos. Funcionários da seção poderão emitir encomendas sem necessidade de autorização do supervisor para valores até 500€, promovendo a descentralização das decisões e agilizando o fluxo de trabalho, o que está em consonância com os princípios *Lean* de autonomia e descentralização.

Embora a integração de sistemas seja ainda parcial nesta etapa, com o sistema de requisições digitalizado, representará um avanço significativo em direção a uma gestão mais eficiente e transparente do processo de

compras. A digitalização permitirá uma rastreabilidade mais precisa das requisições, facilitando a análise e o acompanhamento em tempo real do estado de cada solicitação, o que está alinhado com os objetivos de melhoria contínua (*Kaizen*) e transparência do processo.
A principal contrariedade à implementação deste sistema reside na resistência à mudança e nos desafios tecnológicos que alguns colaboradores podem enfrentar ao interagirem com o software/aplicação. Uma análise de investimento detalhada será necessária, considerando os custos de desenvolvimento de software, formação dos colaboradores e custo anual das licenças de software, garantindo assim uma abordagem sustentável e orientada para resultados.
Dessa forma, esta segunda hipótese tem como objetivo não apenas melhorar a eficiência do processo de requisições, mas também preparar a empresa para futuras etapas de integração mais ampla de sistemas, contribuindo para uma gestão mais integrada e eficaz das operações de compras.

3.3. Hipótese de melhoria 3

Na terceira hipótese do processo de otimização das requisições na empresa, propõe-se a implementação de tecnologias de rastreabilidade ao processo, conjugando automação com a integração de sistemas atuais da empresa, com o objetivo de aumentar a eficiência, segurança e transparência do processo.
Partindo do pressuposto de que a integração de tecnologias de rastreabilidade irá aumentar a precisão e eficiência do processo, simplifica-se a implementação ao definir protocolos claros para gerir situações de urgência. Nesta fase, serão aplicadas as ferramentas *Lean*, como a padronização dos protocolos de urgência, e tecnologias da Indústria 4.0, como a automação das notificações de autorização e a integração em tempo real dos sistemas de requisição com os sistemas de gestão de stock e compras. No entanto, não se considera, por ora, a integração direta com os sistemas de informação dos fornecedores.
Para aplicar este cenário, cada requisitante fará as requisições através de uma aplicação no telefone, tablet ou PDA. Além disso, será implementado um sistema de monitorização em tempo real, permitindo aos utilizadores acompanhar o progresso das suas solicitações, e aos supervisores e gestores uma visão instantânea do processo.
Após a requisição ser efetuada pelo requisitante, o seu supervisor direto receberá uma notificação a alertar sobre as autorizações pendentes, permitindo uma rápida tomada de decisão e redução dos tempos de espera. Após a validação da requisição, o sistema irá gerir automaticamente o stock e encaminhará o pedido para a seção de compras ou armazém, dependendo da natureza do pedido.
Com a aplicação ou tablet para fazer o pedido de forma digital, a lista de material a requisitar já se encontra em formato digital, tanto no armazém como na seção de compras. Assim, além de economizar tempo e reduzir retrabalho, acelerando o processo e aumentando a sua eficiência, serão assegurados também a segurança e a privacidade dos dados sensíveis da empresa mediante a implementação de medidas robustas de segurança cibernética.
No entanto, os desafios de implementação deste sistema incluem custos iniciais elevados de implementação e possíveis desafios de compatibilidade com sistemas existentes, além da resistência à mudança e limitações tecnológicas de alguns colaboradores.
A análise da viabilidade económica deve ser exaustiva e detalhada, tendo em conta o nível elevado de custos que será o desenvolvimento de software, aquisição de hardware para os colaboradores, despesas de manutenção e licenças e formação dos colaboradores.
Este modelo, ao incorporar esses pontos adicionais, promoverá uma gestão de compras mais eficiente, transparente e segura na empresa, alinhada com as melhores práticas da indústria e impulsionando a excelência operacional.

4. Resultados e Discussão

Partindo do processo atual, em Arena, conforme Figura 1, e baseado nas hipóteses descritas acima, foram desenvolvidos três modelos em Arena, conforme as figuras 2, 3 e 4:

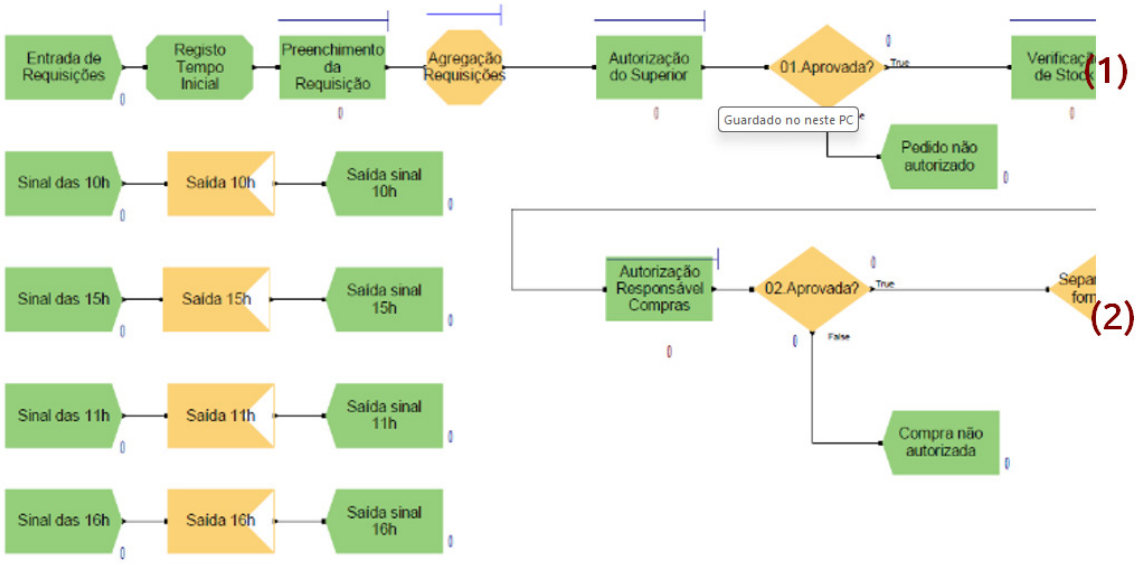


Figura 2 a) – Fluxo do processo da hipótese 1, em Arena

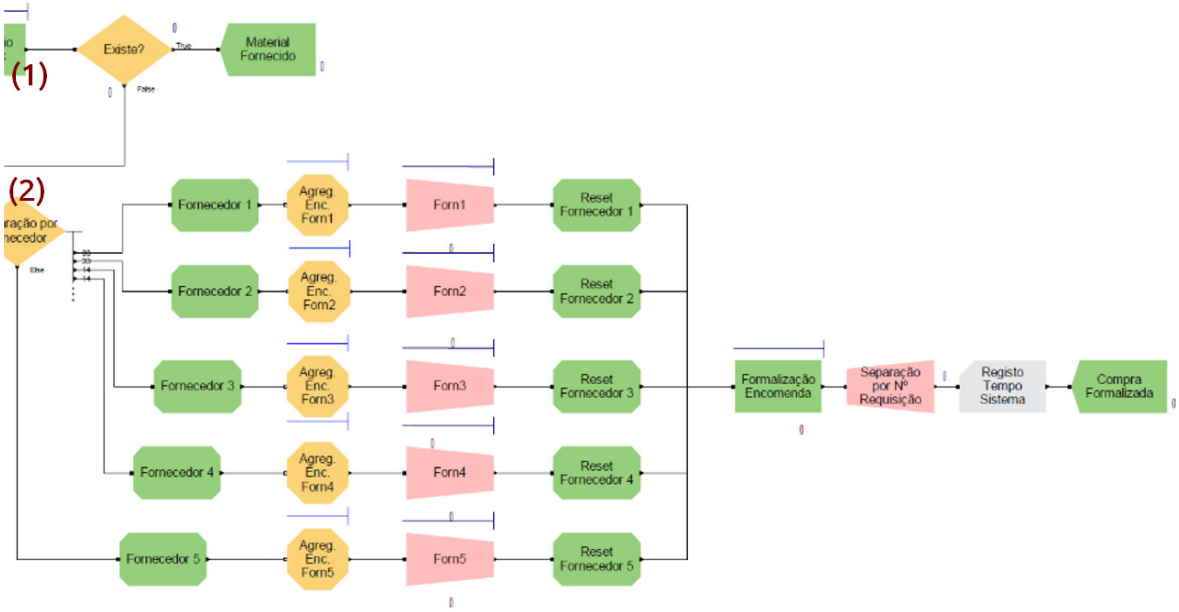


Figura 2 b) – Continuação do Fluxo do processo da hipótese 1, em Arena



Figura 3 – Fluxo do processo da hipótese 2, em Arena



Figura 4 – Fluxo do processo da hipótese 3, em Arena

Para obter resultados comparáveis, considerando que os dados disponíveis para as simulações são qualitativos (uma vez que os dados reais e tempos reais não puderam ser obtidos), parte-se da experiência do autor para determinar os tempos médios de cada atividade no processo atual. Alguns tempos serão constantes ao longo de todas as simulações, enquanto outros serão ajustados em função das melhorias adotadas, detalhando cada caso no subcapítulo relevante. Além disso, será utilizado um mecanismo fixo de chegada de requisições, definido pela expressão "expo(6)" em minutos. Essa expressão assume que uma requisição chega a cada 6 minutos, seguindo uma distribuição exponencial.

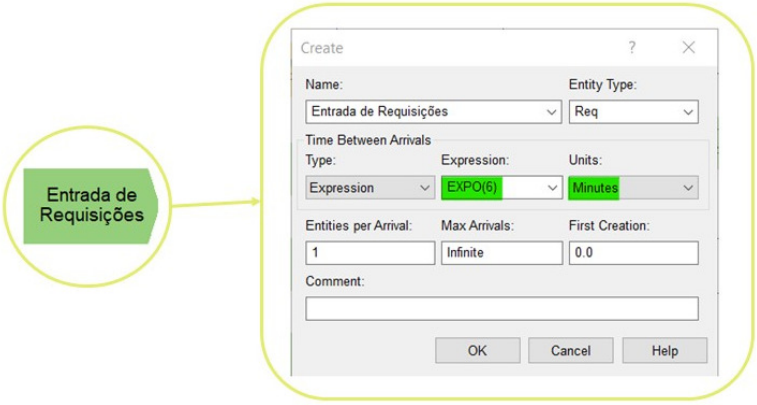


Figura 5 – Parametrização de "Entrada de Requisições"

Será simulado um total de 40 horas de trabalho, distribuídas em 8 horas por dia, representando assim uma semana de trabalho.

Para a análise dos resultados, foram utilizados vários indicadores. Primeiro, a eficiência do processo foi avaliada dividindo o total de requisições que concluíram o processo pelo total de entradas. Além disso, foi calculado o tempo médio que as requisições levam até à fase de encomenda. Importa salientar que as requisições não autorizadas ou aquelas cuja existência de material em stock resulta em entregas imediatas não são contempladas neste tempo médio. Por fim, foram considerados os tempos de utilização, em percentagem, nos processos de "Autorização Responsável Compras" e "Formalização Encomenda". Tendo sido obtidos os resultados apresentados na Tabela 1 para todos os modelos:

Tabela 1 – Comparação de resultados

	MODELOS			
INDICADORES (VALORES MÉDIOS DAS REPLICAÇÕES)	**MODELO ATUAL**	**PRIMEIRA HIPÓTESE**	**SEGUNDA HIPÓTESE**	**TERCEIRA HIPÓTESE**
Chegada de requisições	400	454	438	441
Total de requisições que saíram do processo	329	341	409	426
Encomendas geradas	272	45	48	48
Tempo utilizado pelo Setor Compras (em %)	55	9	10	10
Nº Req. autorizadas pelo superior do requisitante	396	385	374	384
Tempo utilizado pelo superior do requisitante (em %)	41	40	39	40
Nº Req. que chegaram ao armazém	387	363	-	-
Tempo utilizado pelo fiel de armazém em verificações de stock (em %)	78	73	-	-
Nº Req. que chegaram ao responsável de compras para autorizar	286	259	82	83
Tempo utilizado pelo responsável de compras em autorizações (em %)	99	90	19	20
Tempo Total no Sistema (em horas)	4,08	9,94	4,98	3,78
Eficiência do processo (em %) [Total de requisições que saíram do processo / Chegada de Requisições x 100]	82,25	75,11	93,38	96,60

A Terceira Hipótese demonstra a melhor performance global, com o menor tempo total no sistema e a maior eficiência do processo, apesar de exigir uma gestão mais rigorosa do número de requisições e do tempo gasto em autorizações. A Segunda Hipótese também é eficaz, mostrando boa eficiência e menor tempo gasto em autorizações. A Primeira Hipótese reduz significativamente o tempo utilizado pelo setor de compras, mas pode levar a uma maior complexidade no gerenciamento das requisições. O Modelo Atual apresenta a maior variabilidade e menos eficiência comparativamente às hipóteses propostas.

De seguida, procedeu-se à avaliação da Segunda e da Terceira Hipótese de melhoria com base nos critérios do Valor Atual Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno do Investimento (PRI), para determinar a viabilidade econômica e o retorno financeiro de cada hipótese.

Para verificar a viabilidade económica das propostas de melhoria, serão considerados três cenários: um pessimista, um mais provável de ocorrer e um otimista. Estes cenários serão baseados no lucro da empresa. O lucro anual médio foi estimado em 750 000 €, dos quais se estima que 60% advêm da faturação das obras de reparação, resultando num valor de 450 000 € para a base de estudo. Para o cenário mais pessimista, considera-se que apenas 25% dos 450 000 € são resultantes do processo de compras, 30% para o cenário mais provável e 35% para o cenário otimista.

A Tabela 2 estima com base nas percentagens anteriores o lucro correspondente ao processo de compras da empresa:

Tabela 2 – Margens de lucro estimadas para cada cenário

CENÁRIO	MARGEM LUCRO DA FATURAÇÃO	PERCENTAGEM ATRIBUÍDA AO CENÁRIO	MARGEM DE LUCRO DO PROCESSO
PESSIMISTA	450 000,00 €	25%	112 500,00 €
PROVÁVEL	450 000,00 €	30%	135 000,00 €
OTIMISTA	450 000,00 €	35%	157 500,00 €

De seguida, serão apresentados os resultados da avaliação de viabilidade económica para a segunda e terceira hipóteses de melhoria, segundo o critério do Valor Atual Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno do Investimento (PRI). Para o cálculo do VAL, será necessário utilizar uma taxa de retorno, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), a inflação em 2023 em Portugal fixou-se nos 4,3% (Portal do INE, 2024), e embora tenha desacelerado em 2024, irá ser considerado 4,5% de taxa de retorno. É necessário considerar tanto os ganhos anuais estimados quanto os custos associados à implementação e manutenção de cada hipótese, tendo sido estimado os seguintes custos e ganhos para cada hipótese:

Segunda Hipótese: Os custos estimados para a implementação da Segunda Hipótese de melhoria incluem:

- Custos de Formação dos Colaboradores: O valor estimado para a formação é de 3.000,00 €.
- Custos de Licenças de Software: Para a aquisição de dez novas licenças, com um custo anual de 210,00 € por licença, o total é de 2.100,00 €.

Portanto, os custos iniciais da Segunda Hipótese somam 3.000,00 € (formação) + 2.100,00 € (licenças) = 5.100,00 €. Não há outros custos anuais além dos 2.100,00 € relacionados às licenças de software.

Terceira Hipótese: Os custos estimados para a implementação da Terceira Hipótese de melhoria são mais abrangentes:

- Custos de Formação dos Colaboradores: Estimados em 3.000,00 €.
- Custos de Desenvolvimento de Software: Avaliado em 6.500,00 €.
- Custos de Aquisição de Tablets, Smartphones ou PDAs: Considerando um custo unitário de 150,00 € e a aquisição de 10 unidades, o total é de 1.500,00 €.
- Custos de Licenças de Software: Para a aquisição de dez novas licenças, com um custo anual de 210,00 € por licença, o total é de 2.100,00 €.

Assim, os custos iniciais da Terceira Hipótese são 3.000,00 € (formação) + 6.500,00 € (desenvolvimento de software) + 1.500,00 € (aquisição de dispositivos) = 11.000,00 €. Os custos anuais são compostos apenas pelos 2.100,00 € relativos às licenças de software.

Considerou-se um período de cinco anos, tendo sido obtido o VAL seguinte para a segunda e terceira hipótese de melhoria:

Tabela 3 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário da 2ª hipótese

			ANO					
			0	1	2	3	4	5
INVESTIMENTO INICIAL			-5100	-	-	-	-	-
GANHOS ANUAIS	CENÁRIO	PESSIMISTA	-	15223,4	15223,4	15223,4	15223,4	15223,4
		PROVÁVEL	-	18268,08	18268,08	18268,08	18268,08	18268,08
		OTIMISTA	-	21312,77	21312,77	21312,77	21312,77	21312,77

			Ano					
			0	1	2	3	4	5
Custos anuais			-	2100	2100	2100	2100	2100
Cash-Flow	Cenário	Pessimista	-	13123,4	13123,4	13123,4	13123,4	13123,4
		Provável	-	16168,08	16168,08	16168,08	16168,08	16168,08
		Otimista	-	19212,77	19212,77	19212,77	19212,77	19212,77
Valores atualizados	Cenário	Pessimista	-	12558,28	12017,49	11499,99	11004,78	10530,89
		Provável	-	15471,85	14805,6	14168,03	13557,93	12974,09
		Otimista	-	18385,43	17593,71	16836,09	16111,09	15417,31
Amortização Investimento	Cenário	Pessimista	-	9558,28	21575,77	33075,76	44080,53	54611,42
		Provável	-	12471,85	27277,44	41445,48	55003,4	67977,5
		Otimista	-	15385,43	32979,13	49815,22	65926,31	81343,61

Tabela 4 – VAL obtido para cada cenário da 2ª hipótese

		VAL
Cenário	Pessimista	54 611,42 €
	Provável	67 977,50 €
	Otimista	81 343,61 €

Tabela 5 – Parametrização da folha de cálculo para determinar VAL para cada cenário da 3ª hipótese

			Ano					
			0	1	2	3	4	5
Investimento inicial			-11000	-	-	-	-	-
Ganhos anuais	Cenário	Pessimista	-	19627,66	19627,66	19627,66	19627,66	19627,66
		Provável	-	23553,19	23553,19	23553,19	23553,19	23553,19
		Otimista	-	27478,72	27478,72	27478,72	27478,72	27478,72
Custos anuais			-	2100	2100	2100	2100	2100
Cash-Flow	Cenário	Pessimista	-	17527,66	17527,66	17527,66	17527,66	17527,66
		Provável	-	21453,19	21453,19	21453,19	21453,19	21453,19
		Otimista	-	25378,72	25378,72	25378,72	25378,72	25378,72
Valores atualizados	Cenário	Pessimista	-	16772,88	16050,6	15359,43	14698,02	14065,09
		Provável	-	20529,37	19645,33	18799,36	17989,82	17215,14
		Otimista	-	24285,86	23240,06	22239,29	21281,62	20365,18
Amortização Investimento	Cenário	Pessimista	-	5772,88	21823,48	37182,91	51880,93	65946,02
		Provável	-	9529,37	29174,7	47974,06	65963,88	83179,01
		Otimista	-	13285,86	36525,92	58765,21	80046,82	100412

Resultando, para cada cenário, um VAL de:

Tabela 6 – VAL obtido para cada cenário da 3ª hipótese

		VAL
Cenário	Pessimista	65 946,02 €
	Provável	83 179,01 €
	Otimista	100 412,01 €

Considerando a Tabela 3 e 5, e com recurso à fórmula 1, determinou-se o Período de Retorno de Investimento (PRI), para cada cenário de cada proposta, resultando:

$$PRI = n + \frac{CF_n}{CF_n - CF_{n+1}} \quad (1)$$

Em que:

- PRI é o Período de Retorno Investimento;
- n é o ano anterior à passagem da amortização do investimento de negativo a positivo, no caso em estudo, para todos os cenários, $n = 0$;
- CF_n é o investimento inicial, a negativo, ou seja, - 3 000,00 €;
- CF_{n+1} é o valor amortizado para o ano $n + 1$, neste caso, 1, o que irá corresponder respetivamente, para cada cenário, pessimista, provável e otimista, a: 9 558,28 €, 12 471,85 € e 15 385,43 €.

2ª hipótese:

Substituindo na fórmula, para cada cenário, obtém-se:

- Cenário Pessimista:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 9\,558{,}28} = 0{,}239\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}239 \times 12 = 2{,}9\ meses$$

Multiplicando por 0,9 por 30 dias, resulta:

$$0{,}9 \times 30 = 27\ dias$$

O que significa que, no cenário mais pessimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses e 27 dias.

- Cenário mais provável:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 12\,471{,}85} = 0{,}194\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}194 \times 12 = 2{,}3\ meses$$

Multiplicando por 0,3 por 30 dias, resulta:

$$0{,}3 \times 30 = 9\ dias$$

O que significa que, no cenário mais provável, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses e 9 dias.

- Cenário otimista:

$$PRI = 0 + \frac{-3\,000}{-3\,000 - 15\,385{,}43} = 0{,}163\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}163 \times 12 = 2\ meses$$

O que significa que, no cenário mais otimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 2 meses.

3ª hipótese:

Substituindo na fórmula 1, para cada cenário, obtém-se:

- Cenário Pessimista:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 5\,772{,}88} = 0{,}656\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}656\ \times 12 = 7{,}9\ meses$$

Multiplicando por 0,9 por 30 dias, resulta:

$$0{,}9\ \times 30 = 27\ dias$$

O que significa que, no cenário mais pessimista, o retorno do investimento é feito ao fim de 7 meses e 27 dias.

- Cenário mais provável:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 9\,529{,}37} = 0{,}536\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}536\ \times 12 = 6{,}4\ meses$$

Multiplicando por 0,4 por 30 dias, resulta:

$$0{,}4\ \times 30 = 12\ dias$$

O que significa que, no cenário mais provável, o retorno do investimento é feito ao fim de 6 meses e 12 dias.

- Cenário otimista:

$$PRI = 0 + \frac{-11\,000}{-11\,000 - 13\,285{,}86} = 0{,}452\ anos$$

Multiplicando por 12 meses, resulta:

$$PRI = 0{,}452\ \times 12 = 5{,}4\ meses$$

Multiplicando por 0,4 por 30 dias, resulta:

$$0{,}4\ \times 30 = 12\ dias$$

Sistematizando, temos o seguinte quadro resumo:

Tabela 7 – Comparação de Resultados

Hipóteses de melhoria	**Cenários**								
	Pessimista			**Provável**			**Otimista**		
	VAL [€]	**TIR [%]**	**PRI [meses]**	**VAL [€]**	**TIR [%]**	**PRI [meses]**	**VAL [€]**	**TIR [%]**	**PRI [meses]**
2ª Hipótese	54 611,42	437	2,9	67 977,50	539	2,3	81 343,61	640	2
3ª Hipótese	65 946,02	158	7,9	83 179,01	194	6,4	100 412,01	230	5,4

Com base na tabela apresentada, é possível tirar as seguintes ilações:

- Valor Atual Líquido (VAL): Em todos os cenários (pessimista, provável e otimista), a 3ª hipótese de melhoria apresenta um VAL superior à 2ª hipótese. Isto indica que a 3ª hipótese poderá proporcionar um retorno financeiro superior, conforme demonstra a figura que se segue.

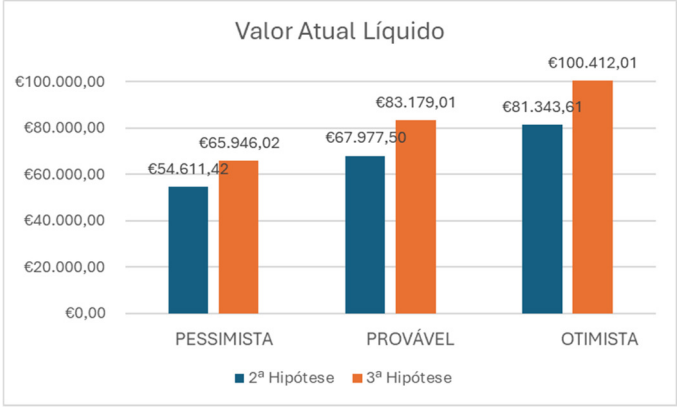


Figura 6 – Comparação VAL por hipótese e cenário

- Taxa Interna de Retorno (TIR): A 2ª hipótese apresenta uma TIR significativamente superior à 3ª hipótese em todos os cenários. Uma TIR mais elevada indica que a 2ª hipótese poderá proporcionar um retorno percentual superior sobre o investimento, tal como a figura seguinte sugere:

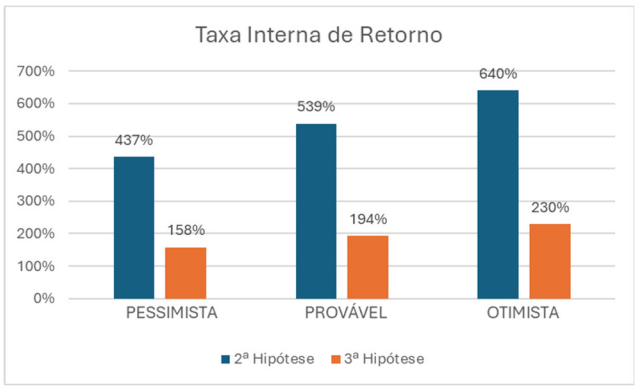


Figura 7 – Comparação TIR por hipótese e cenário

- Período de Retorno de Investimento (PRI): A 2ª hipótese tem um PRI menor em todos os cenários, o que significa que o investimento inicial seria recuperado mais rapidamente em comparação com a 3ª hipótese, tal como indica a figura subsequente:

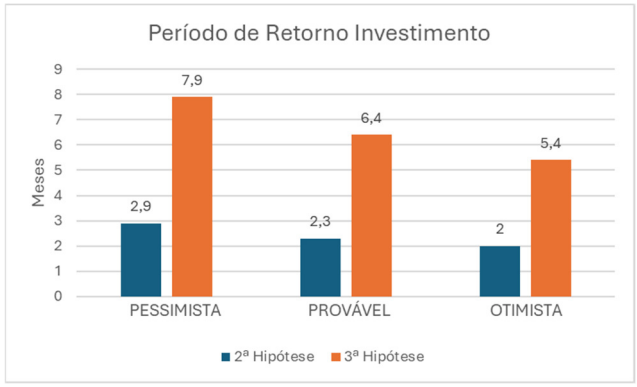


Figura 8 – Período de retorno de investimento de acordo com a hipótese

Em resumo, embora a 3ª hipótese apresente um VAL superior, a 2ª hipótese tem uma TIR mais elevada e um PRI mais curto. Portanto, a escolha entre as duas hipóteses dependerá dos objetivos e das prioridades do investidor. Se o foco for um retorno financeiro superior, a 3ª hipótese poderá ser mais atraente. No entanto, se a prioridade for um retorno percentual mais elevado e uma recuperação mais rápida do investimento, a 2ª hipótese poderá ser a opção preferida.
Considerando a resistência natural das pessoas à mudança, a estratégia mais sensata seria implementar ambas as hipóteses de melhoria de forma gradual. Inicialmente, seria implementada a segunda hipótese. Após a empresa se adaptar a esta mudança, avançaríamos para a implementação da terceira hipótese. Dado que a empresa presta assistência externa a diversos equipamentos, a terceira hipótese proporcionaria, no futuro, a opção de solicitar material logo na deslocação efetuada. Desta forma, o tempo de viagem do técnico poderia ser aproveitado para iniciar o processo de requisição de material. Esta abordagem permitiria uma otimização do tempo e uma maior eficiência nos processos da empresa.

5. Conclusão

Este estudo examinou três hipóteses de melhoria para o processo de requisição interna de uma PME industrial, focando na digitalização, implementação de um sistema de Planeamento e Controlo de Produção (PCP) e integração de metodologias *Lean* com tecnologias da Indústria 4.0. Os resultados das simulações indicaram uma redução significativa no tempo total do sistema para todas as hipóteses, com a terceira hipótese apresentando a maior eficiência.
A análise económica revelou que, embora a segunda hipótese tenha uma Taxa Interna de Retorno (TIR) mais elevada, a terceira hipótese oferece um Valor Atual Líquido (VAL) superior em todos os cenários, sugerindo maior retorno financeiro a longo prazo. O Período de Retorno de Investimento (PRI) é mais longo na terceira hipótese, mas os benefícios a longo prazo justificam a espera.
Recomenda-se a implementação da terceira hipótese, pois combina melhorias operacionais substanciais com robustez financeira. Esta abordagem não apenas otimiza os processos internos, mas também posiciona a empresa para crescimento sustentável e inovação contínua, alinhando-se com os princípios das metodologias *Lean* e as vantagens das tecnologias da Indústria 4.0. Para futuras investigações, recomenda-se explorar as melhorias propostas em diferentes contextos empresariais, integrando tecnologias emergentes como inteligência artificial (IA) e *machine learning* (ML). Estas tecnologias podem automatizar processos, prever necessidades futuras e identificar padrões de consumo que não são visíveis através de métodos tradicionais.

Referências

Brealey, R. A., Myers, S. C., Allen, F., & Edmans, A. (2023). Principles of corporate finance (14. Auflage). McGraw Hill.

de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. Computers & Industrial Engineering, 149, 106868. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868

Dennis, P. (2008). Produção Lean Simplificada. Bookman.

Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. Journal of Operations Management, 25(2), 420–437. https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001

Lefley, F. (1996). The payback method of investment appraisal: A review and synthesis. International Journal of Production Economics, 44(3), 207–224. https://doi.org/10.1016/0925-5273(96)00022-9

Meadows, D. H. (2009). Thinking in systems: A primer. Earthscan.

Odebrecht de Souza, R., Ferenhof, H., & Forcellini, F. (2022). Industry 4.0 and Industry 5.0 from the Lean perspective. International Journal of Management, Knowledge and Learning, 11. https://doi.org/10.53615/2232-5697.11.145-155

Romero, L. F., & Arce, A. (2017). Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review. IFAC-PapersOnLine, 50(1), 1075–1086. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.385

Ross, S. A., Westerfield, R., Jaffe, J. F., & Jordan, B. D. (com Shue, K.). (2022). Corporate finance (Thirteenth edition, international student edition). MCGraw Hill.

ID21
Índice Multicritério de Prioridade de Risco para a Avaliação de Falhas na Metodologia FMECA

M. Padre ([1]), R. J. G. Mateus ([2]), João C. Antunes Rodrigues ([2])
elainepadre12@outlook.com, p5768@ulusofona.pt, p5942@ulusofona.pt

([1]) Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Lusófona, Portugal;
([2]) RCM2+ Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas, Universidade Lusófona, Portugal

Resumo

A manutenção de equipamentos é de extrema importância pois acarreta custos de reposição e previne a sua indisponibilidade. A gestão de riscos em manutenção utiliza a metodologia de Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade (FMECA) para a avaliação dos efeitos das falhas em equipamentos através do cálculo do seu número ou índice de prioridade de risco. O presente trabalho propõe o cálculo de um novo índice multicritério de prioridade de risco integrando os princípios e métodos da análise de decisão multicritério através da: estruturação dos efeitos das falhas segundo critérios de risco; estimativa desses efeitos e das probabilidades de ocorrência e de deteção das falhas; cálculo do efeito esperado das falhas segundo cada critério; classificação dos níveis de efeitos esperados considerados críticos e toleráveis segundo cada critério; valorização dos efeitos esperados através de funções de valor que representam as preferências intra-critério do decisor; e ponderação dos critérios a partir dos *trade-off* de valor que representam as preferências inter-critério do decisor. O índice proposto classifica de forma absoluta, como crítica ou tolerável, a criticidade global de cada falha e prioriza de forma relativa as falhas mais críticas, permitindo orientar a definição de ações corretivas e avaliar a sua eficácia com vista à mitigação do risco de cada falha. A aplicação da metodologia proposta é ilustrada através do estudo de um caso de manutenção de um sistema constituído por um purificador de óleo diesel e o motor elétrico associado na empresa petrolífera BP em Angola. Os resultados obtidos demonstram as vantagens associadas ao índice proposto, nomeadamente a possibilidade de incluir múltiplos critérios de risco, escalas de 0% a 100% para quantificar a probabilidade de ocorrência de falhas, a avaliação dos efeitos esperados dessas falhas através de funções de valor não linear e a sua classificação como falhas toleráveis, críticas ou muito críticas, de acordo com o sistema de manutenção vigente e após a aplicação de novas ações de prevenção e controlo.

Palavras-Chave: FMECA, Número de Prioridade de Risco, Análise Multicritério, Falhas, Manutenção

1. Introdução

Ao longo da sua vida útil, os sistemas estão sujeitos a deteriorar-se, sendo necessárias inspeções programadas, reparações ou substituições de peças, entre outras rotinas preventivas e corretivas de manutenção. O controlo do comportamento dos equipamentos e o tipo e periodicidade de ações de manutenção representam os pilares que sustentam a operacionalidade, eficiência económica, segurança e tempo de vida útil dos sistemas e a qualidade dos outputs por estes produzidos.

A análise de riscos em manutenção adota a metodologia de Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade (FMECA) para identificar as potenciais falhas dos componentes de um sistema, avaliar os seus efeitos e determinar a criticidade dessas falhas através do cálculo do seu Número ou Índice de Prioridade de Risco (IPR).
Este estudo propõe a reformulação do IPR, integrando os princípios e métodos da análise de decisão multicritério, num novo Índice Multicritério de Prioridade de Risco (IMPR), contribuindo assim para uma análise de risco e de avaliação da criticidade de falhas mais estruturada e cientificamente robusta à luz das boas práticas de construção de modelos de decisão com múltiplos critérios (Mateus, 2017). Para o efeito, são propostas as seguintes alterações ao cálculo do IPR: estruturação dos efeitos de cada falha segundo critérios de risco; estimativa desses efeitos e das probabilidades de ocorrência e de deteção de cada falha; cálculo do efeito esperado de cada falha segundo cada critério; classificação dos níveis de efeitos esperados considerados críticos e toleráveis segundo cada critério; valorização dos efeitos esperados através de funções de valor que representam as preferências intra-critério do decisor; e ponderação dos critérios a partir dos *trade-off* de valor que representam as preferências inter-critérios do decisor.

Este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: a secção 2 faz uma revisão da literatura do método convencional de cálculo do IPR, identificando as suas principais limitações à à luz das metodologias de análise de decisão multicritério; a secção 3 apresenta a metodologia proposta de cálculo do IMPR, os métodos de análise multicritério da teoria de medição do valor utilizados para o efeito e os resultados obtidos pela sua aplicação no estudo de um caso relativo à manutenção de um purificador de óleo diesel e respetivo motor elétrico no âmbito da empresa petrolífera BP em Angola; e a secção 4 conclui discutindo os contributos da metodologia para a literatura da manutenção e os potenciais desenvolvimentos futuros em termos de investigação.

2. Revisão bibliográfica

Diversas metodologias e ferramentas têm sido propostas na literatura para abordar o desafio da manutenção de equipamentos. A metodologia FMEA é uma das mais frequentemente utilizadas na indústria, permitindo identificar os potenciais modos de falhas de um sistema, incluindo as suas causas e os seus efeitos. A metodologia FMECA é uma abordagem sistemática complementar que permite determinar a criticidade dessas falhas, de forma a priorizar ações de manutenção preventiva, melhorando a eficiência e fiabilidade dos sistemas e minimizando o risco de avarias e paragens não programadas (Dhillon, 2003; Liu et al., 2013). Para o efeito, a metodologia FMECA determina o IPR de cada falha potencial identificada na metodologia FMEA pela equação (1) através do produto de três variáveis classificadas de forma qualitativa numa escala ordinal de 1 a 10: (S)everidade dos efeitos da ocorrência da falha; probabilidade da (O)corrência da falha; e probabilidade de (D)eteção da falha antes da sua ocorrência.

$$IPR = S \times O \times (1 - D) \quad (1)$$

As falhas pontuadas com um maior IPR são as que apresentam um maior risco e consequentemente às quais deve ser dada maior prioridade na identificação e seleção de ações preventivas de manutenção que minimizem a probabilidade e os efeitos da ocorrência da falha ou melhorem a probabilidade da sua deteção atempada (Stamatis, 2003).

O cálculo do IPR através da equação (1) tem sido questionado e debatido na literatura, onde as suas principais limitações têm sido prolificamente descritas (Chen, 2007; Liu et al., 2013), incluindo: o IPR é avaliado numa escala qualitativa ordinal; a variável S conflui vários tipos de efeitos potenciais (e.g., custo, tempo, segurança, qualidade) associados à ocorrência de uma falha e não distingue os efeitos estimados do seu valor (risco) para o decisor, exigindo deste um esforço cognitivo de agregação holística de todos estes conceitos numa escala qualitativa ordinal; as variáveis O e D são estimadas de forma qualitativa numa escala ordinal que amiúde não corresponde quantitativamente às suas probabilidades definidas na escala 0% a 100%.

A avaliação e priorização da criticidade das falhas é um problema que envolve necessariamente múltiplos critérios de risco (Braglia, 2000). As abordagens de análise de decisão multicritério são fundamentais para a tomada de decisões sustentadas, permitindo uma melhor estruturação dos problemas, a separação entre factos objetivos do problema e preferências subjetivas do decisor, a incorporação da incerteza, a avaliação de alternativas segundo múltiplos critérios e a seleção das melhores estratégias de manutenção de uma forma mais estruturada, transparente e cientificamente robusta (Clemen e Reilly, 2001; Edwards et al., 2007; Kirkwood, 1997).

As metodologias de análise multicritério têm sido utilizadas para ultrapassar as limitações do método convencional de cálculo do IPR. Liu et al. (2019) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação de metodologias multicritério no cálculo do IPR, que classificaram em dez categorias distintas, e concluíram que é esperado que a introdução de melhorias na metodologia FMECA com base nestes métodos irá continuar a emergir como uma importante linha de investigação na área da análise de riscos e gestão da fiabilidade. Neste contexto, o presente artigo propõe uma nova metodologia de cálculo do IMPR que se propõe corrigir as limitações anteriormente referidas à luz dos princípios e métodos das metodologias de análise de decisão multicritério baseadas na teoria da medição do valor.

3. Metodologia, métodos e resultados

O Índice Multicritério de Prioridade de Risco (IMPR) associado a cada falha, proposto neste artigo, é definido pelas equações (2) a (6).

$$ee_i = e_i \times po \times (1 - pd), \forall i \in I \quad (2)$$
$$v[ee_i^t] = 0, \forall i \in I \quad (3)$$
$$v[ee_i^c] = 100, \forall i \in I \quad (4)$$
$$\sum_{i \in I} k_i = 1 \ \wedge \ k_i > 0, \forall i \in I \quad (5)$$
$$IMPR = \sum_{i \in I} k_i \times v[ee_i] \quad (6)$$

Em que: *i* corresponde a cada um dos critérios de risco *I* que representam os efeitos de cada falha considerados relevantes pelo decisor; e_i corresponde à estimativa do efeito medido segundo o indicador definido para o critério de risco *i* caso a falha ocorra; *po* corresponde à probabilidade de ocorrência da falha; *pd* corresponde à probabilidade de deteção da falha; ee_i corresponde à estimativa do efeito esperado segundo o indicador definido para o critério de risco *i*; $v[ee_i]$ corresponde à função de valor que mede as preferências intra-critério do decisor face aos diferentes níveis de efeitos esperados ee_i segundo o critério de risco *i*; ee_i^t corresponde ao nível do efeito esperado segundo o critério de risco *i* considerado tolerável pelo decisor; ee_i^c corresponde ao nível do efeito esperado segundo o critério de risco *i* considerado crítico pelo decisor; e k_i corresponde ao coeficiente de ponderação do critério de risco *i* que mede as preferências inter-critério do decisor.

A metodologia de cálculo do IMPR no contexto da metodologia FMECA consiste num conjunto de passos, que se apresenta de seguida, tendo por base o estudo de um caso de manutenção relativo a um sistema com um histórico de falhas frequentes constituído por um purificador de óleo diesel e o respetivo motor elétrico do navio de produção, armazenamento e transferência de petróleo da British Petroleum (BP) em Angola.

3.1. Identificação dos critérios de risco e respetivos indicadores

Após a identificação dos modos de falha potencial associados a cada componente do sistema, o responsável pela manutenção (decisor) foi questionado acerca dos efeitos (riscos) fundamentais que a ocorrência de uma falha provoca na organização. Os principais riscos identificados foram os respetivos custos e tempos de reposição, que correspondem aos critérios de risco que a organização visa minimizar. Os indicadores associados a cada um destes critérios foram, respetivamente, o custo de reposição e_{custo} em dólares ($) e o tempo de reposição e_{tempo} em minutos.

3.2. Estimativa dos efeitos esperados da ocorrência de cada falha

Tendo em conta os procedimentos de manutenção vigentes de deteção de falhas e de substituição de peças, foram estimadas os valores das seguintes variáveis para cada modo de falha com base no histórico de eventos ocorridos e a experiência da equipa de manutenção:

a) Custo de reposição e_{custo}, em dólares, caso a falha ocorra;
b) Tempo de reposição e_{tempo}, em minutos, caso a falha ocorra;
c) Probabilidade po de ocorrência da falha anualmente, numa escala quantitativa entre 0% e 100%;
d) Probabilidade pd de deteção da falha antes que ela ocorra, numa escala quantitativa entre 0% e 100%.

A aplicação da equação (2) às estimativas anteriores, permitiu determinar o custo esperado ee_{custo} e o tempo esperado ee_{tempo} de reposição associado a cada falha.

3.3. Definição dos níveis crítico e tolerável de risco associados a cada critério

O responsável pela manutenção foi então questionado sobre os níveis de efeitos esperados que considerava toleráveis e críticos segundo cada um dos critérios de risco (Yoe, 2019). As respostas obtidas apresentam-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis crítico e tolerável dos custos e tempos esperados de reposição

NÍVEIS DE RISCO POR CRITÉRIO	RISCO TOLERÁVEL	RISCO CRÍTICO
Custo esperado de reposição (ee_{custo})	$ee^{t}_{custo} = 1$ \$	$ee^{c}_{custo} = 5$ \$
Tempo esperado de reposição (ee_{tempo})	$ee^{t}_{tempo} = 1$ min.	$ee^{c}_{tempo} = 5$ min.

3.4. Definição das funções de valor associadas a cada critério de risco

As funções de valor associadas a cada critério de risco foram determinadas com base no método da bissecção (Goodwin e Wright, 2004; Mateus et al., 2010). Para o efeito, o responsável pela manutenção foi questionado se preferia reduzir o custo esperado de uma falha 5\$ para 3\$ ou reduzir o custo esperado de outra falha de 3\$ para 1\$, tendo respondido que não tinha preferência entre as duas alternativas de redução, ou seja, que as considerava equivalentes. Desta forma, foi possível validar que a função de valor associada ao critério de risco custo de reposição é linear. O mesmo método foi aplicado para o critério de risco tempo de reposição, tendo-se concluído que a respetiva função de valor é também linear.
Tendo em conta a forma linear das funções de valor dos critérios de risco custo e tempo de reposição e os pressupostos estabelecidos nas equações (3) e (4), é possível determinar as respetivas expressões numéricas através da equação geral (7), resultando nas funções de valor $v[ee_{custo}]$ e $v\left[ee_{tempo}\right]$ que se apresentam nas equações (8) e (9).

$$v[ee_i] = \frac{-100 \times ee_i^t}{ee_i^c - ee_i^t} + \frac{100}{ee_i^c - ee_i^t} \times ee_i, \qquad \forall i \in I \tag{7}$$

$$v[ee_{custo}] = -25 + 25 \times ee_{custo} \tag{8}$$

$$v\left[ee_{tempo}\right] = -25 + 25 \times ee_{tempo} \tag{9}$$

3.5. Definição dos coeficientes de ponderação associados a cada critério de risco

Os coeficientes de ponderação k_i no modelo aditivo da equação (6) representam taxas de compensação (*trade-offs* de valor) entre os critérios de risco *i* de acordo com as preferências inter-critério do responsável pela manutenção, ou seja, quanto é que este decisor está disposto a reduzir os efeitos esperados num determinado critério para aumentar os efeitos esperados num outro critério. Esta taxa foi obtida através da aplicação do procedimento de ponderação *trade-off procedure* (Keeney e Raiffa, 1976) tendo em conta a resposta do responsável pela manutenção à seguinte questão: Qual o efeito esperado ee^{*}_{custo} no custo de reposição que torna equivalentes em termos de preferência as duas alternativas hipotéticas A e B apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Determinação da taxa de compensação entre o custo e tempo de reposição

ALTERNATIVA HIPOTÉTICA	ee_{custo}	ee_{tempo}
Alternativa A	$ee^{c}_{custo} = 5$ \$	$ee^{t}_{tempo} = 1$ min.
Alternativa B	$ee^{*}_{custo} = ?$	$ee^{c}_{tempo} = 5$ min.

A resposta do responsável pela manutenção foi a de que a alternativa A é igualmente preferível à alternativa B (i.e., $IMPR(A) = IMPR(B)$) quando $ee^{*}_{custo} = 1$ \$. Substituindo os termos desta igualdade pela equação (6), obtém-se: $k_{custo} \times v[ee^{c}_{custo}] + k_{tempo} \times v\left[ee^{t}_{tempo}\right] = k_{custo} \times v[ee^{*}_{custo}] + k_{tempo} \times v\left[ee^{c}_{tempo}\right]$.
Substituindo nesta equação, $v[ee^{*}_{custo}]$ pela pontuação parcial nula, uma vez que de acordo com a equação (8) $v[ee^{*}_{custo}] = -25 + 25 \times ee^{*}_{custo} = -25 + 25 \times 1 = 0$, e os restantes termos pelas pontuações parciais das equações (3) e (4), obtém-se a taxa de substituição entre os valores dos dois critérios de risco: $k_{custo} \times 100 + k_{tempo} \times 0 = k_{custo} \times 0 + k_{tempo} \times 100 \Leftrightarrow k_{custo} = k_{tempo}$. Em suma, os coeficientes de ponderação são iguais e correspondem a uma taxa de compensação linear de um dólar por cada minuto e vice-versa.
Tendo em conta esta taxa de substituição e a restrição imposta pela equação (5) de que os coeficientes de ponderação devem somar 100%, é possível obter os coeficientes de ponderação k_i de cada critério de risco *i*, que correspondem às preferências inter-critério do responsável pela manutenção neste contexto de decisão, através da resolução do respetivo sistema de duas equações lineares, através da qual se obtêm os coeficientes $k_{custo} = 50\%$ e $k_{tempo} = 50\%$.

3.6. Cálculo do IMPR associado a cada falha

O IMPR de cada falha é determinado com base no modelo aditivo de valor multicritério da equação (6), tendo em conta as funções de valor $v[ee_i]$ e os coeficientes de ponderação k_i determinados nas secções 3.4 e 3.5 respetivamente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.
As pontuações globais do IMPR permitem determinar quais as falhas cujos efeitos esperados representam riscos toleráveis ($0 \leq$ IMPR), riscos críticos ($0 <$ IMPR ≤ 100) e riscos muito críticos (IMPR > 100) para a organização, o que permite identificar as falhas em que a equipa de manutenção deve priorizar a revisão das ações de prevenção e controlo vigentes.

Após a análise e avaliação de risco da situação vigente, iniciou-se a fase de melhoria, atribuindo novas ações preventivas e corretivas que pudessem resultar em melhorias nos valores do IMPR das falhas potenciais. Consequentemente, a equipa de manutenção concentrou a sua análise nas falhas críticas (valores a negrito na última coluna da Tabela 3) com o objetivo de reduzir o seu IMPR para níveis de risco toleráveis, nomeadamente através de novas ações de manutenção que potenciassem a redução da probabilidade de ocorrência (*po*) e/ou o aumento da probabilidade de deteção (*pd*) atempada dessas falhas (e.g., através da alteração da frequência de inspeções periódicas).
A Tabela 4 apresenta as novas ações propostas para as falhas classificadas como críticas (IMPR > 0), destacando a negrito as alterações que essas ações irão gerar provavelmente nas variáveis de frequência, probabilidades de ocorrência *po* e de deteção *pd* e IMPR.

Tabela 3 – Determinação do IMPR das falhas considerando as ações vigentes de prevenção e controlo

SISTEMA	COMPONENTE	TIPO DE FALHA	AÇÕES VIGENTES DE PREVENÇÃO E CONTROLO	FREQ.ª	E_{CUSTO} ($)	E_{TEMPO} (MIN)	PO (%/ANO)	PD (%)	EE_{CUSTO} ($)	EE_{TEMPO} (MIN)	IMPR
PURIFICADOR DE ÓLEO DIESEL	Válvula de entrada	1.1Vazão de óleo	Inspeção visual	Mensal	250	45	2,00	90	0,5	0,1	-18
	Discos de gravidade	1.2 Vazão de óleo	Revisão periódica	Mensal	900	180	1,25	90	1,1	0,2	-8
	Pastilhas de fricção	1.3 Vazão de óleo	Revisão periódica	Mensal	400	90	2,00	90	0,8	0,2	-13
	Válvula de alívio	1.4 Baixo rendimento do óleo	Revisão periódica	Mensal	200	45	2,00	90	0,4	0,1	-19
	Filtro	1.5 Baixo rendimento do óleo	Inspeção e substituição periódica	Mensal	2500	90	2,00	90	5,0	0,2	**40**
	Tubo de entrada	1.6 Interrupção do envio do fluido	Inspeção periódica	Mensal	1250	90	2,00	90	2,5	0,2	**8**
	Tubo de saída	1.7 Interrupção de saída do fluido	Inspeção periódica	Mensal	4000	120	2,00	90	8,0	0,2	**78**
	Filtro de linha de água	1.8 Interrupção do envio de fluido	Inspeção e substituição periódica	Mensal	300	45	2,00	90	0,6	0,1	-16
	Anéis O	1.9 Abrasão	Revisão periódica	Mensal	250	180	1,25	90	0,3	0,2	-18
	Cuba/tigela	1.10 Vibração excessiva	Revisão periódica	Mensal	350	180	1,25	90	0,4	0,2	-17
	Suporte de vibração	1.11 Desgaste	Inspeção periódica	Mensal	250	45	2,00	90	0,5	0,1	-18
	Solenóide	1.12 Falta de remoção do lodo	Inspeção periódica	Mensal	125	45	2,00	90	0,3	0,1	-21
	Parafusos	1.13 Falha por fadiga	Inspeção periódica	Mensal	75	45	2,00	90	0,2	0,1	-22
	Porcas	1.14 Falha por fadiga	Inspeção periódica	Mensal	75	45	2,00	90	0,2	0,1	-22
	Anel retangular	1.15 Pressão elevada	Inspeção periódica	Mensal	250	45	2,00	90	0,5	0,1	-18
	Arruela de proteção	1.16 Travamento da arruela	Inspeção periódica	Mensal	1350	45	2,00	90	2,7	0,1	**10**
	Anéis de ajuste da altura	1.17 Falha por falta de equilíbrio	Inspeção periódica	Mensal	250	45	2,00	90	0,5	0,1	-18
	Cobertura/capô da tigela	1.18 Curva do capô da tigela quebrada	Revisão periódica	Mensal	500	240	1,25	90	0,6	0,3	-13
	Tigela/bacia	1.19 Problemas de balanceamento	Revisão periódica	Mensal	800	240	1,25	90	1,0	0,3	-9
MOTOR ELÉTRICO	Estador	2.1 Aquecimento por falta de refrigeração	Inspeção periódica/Desobstrução da ventilação	Mensal	7600	240	0,35	90	2,7	0,1	**9**
		2.2 Sobreaquecimento devido a sobrecarga	Sistema de proteção contra sobrecarga	Mensal	7600	240	1,25	90	9,5	0,3	**98**
		2.3 Paragem do circuito	Sistema de proteção contra aterramento/Inspeção periódica	Mensal	7600	240	1,25	90	9,5	0,3	**98**
	Rolamento	2.4 Gripagem devido a degradação	Monitorização periódica da vibração/Lubrificação	Mensal	300	300	2,00	90	0,6	0,6	-10
		2.5 Gripagem devido a vibração	Monitorização periódica da vibração/Lubrificação	Mensal	400	300	2,00	90	0,8	0,6	-8
	Rotor do motor elétrico	2.6 Paragem do circuito	Monitorização periódica da vibração/Lubrificação	Mensal	7600	2880	0,15	5	10,8	4,1	**162**
	Polia	2.7 Desgaste	Revisão periódica	Mensal	250	240	2,00	90	0,5	0,5	-13
	Sinoblocos	2.8 Rotura/Rompimento	Revisão periódica	Mensal	500	180	2,00	90	1,0	0,4	-8
	Ventilador	2.9 Sujidade no motor	Inspeção periódica/Desobstrução da ventilação	Mensal	400	45	0,15	90	0,1	0,0	-24
	Eixo(s) do motor	2.10 Humidade no motor	Revisão periódica	Mensal	3500	2880	1,00	90	3,5	2,9	**55**
	Enrolamento	2.11 Falta de fase	Inspeção detalhada periódica	Mensal	7600	2880	2,00	90	15,2	5,8	**237**

Tabela 4 – Determinação do IMPR das falhas considerando as novas ações propostas de prevenção e controlo

FALHA	NOVAS AÇÕES PROPOSTAS DE PREVENÇÃO E CONTROLO	FREQ.ª	PO (%/ANO)	PD (%)	IMPR
1.5	Monitorização (manómetros e transmissores de pressão diferencial)	**Contínuo**	2,00	**99**	**-19**
1.6	Monitorização (transmissores de pressão e fluxo e SCADA)	**Contínuo**	2,00	**99**	**-22**
1.7	Monitorização (transmissores de pressão e fluxo)	**Contínuo**	2,00	**99**	**-15**
1.16	Controlo automatizado (sensores ou controladores programáveis)	**Contínuo**	2,00	**99**	**-22**
2.1	Ventilador adicional e limpezas mais frequentes	**Bimensal**	**0,10**	**95**	**-20**
2.2	Inversores de frequência/controlo de velocidade.	Mensal	**0,50**	90	**24**
2.3	Inspeção visual regular (alimentação elétrica, proteção e estador)	**Bimensal**	1,25	**95**	**36**
2.6	Inspeção visual regular e dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis)	**Bimensal**	**0,05**	**10**	**34**
2.10	Vedantes apropriados e desumidificação do ambiente	Mensal	**0,10**	90	**-17**
2.11	Monitorização (relés de proteção, monitores de corrente inteligentes)	**Contínuo**	**1,50**	**99**	**-5**

As novas ações propostas de prevenção e controlo permitem reduzir o IMPR de todas as falhas críticas, a maior parte delas para níveis de risco toleráveis.

4. Discussão e Conclusões

Este artigo contribui para a literatura da manutenção e gestão de ativos ao propor a integração da metodologia FMECA com os princípios e métodos das metodologias de análise de decisão multicritério baseadas na medição do valor através da proposição de um novo IMPR que responde a algumas das limitações identificadas na literatura relativamente ao método convencional de cálculo do IPR.
As vantagens deste novo índice IMPR face ao IPR incluem:

a) A possibilidade de incluir os efeitos da ocorrência de uma falha segundo diversos critérios de risco em simultâneo considerados relevantes para a organização;
b) A quantificação das probabilidades de ocorrência e de deteção das falhas através de uma escala quantitativa de rácios entre 0% e 100%;
c) A quantificação dos efeitos da ocorrência de uma falha segundo vários critérios de risco;
d) A estimativa dos efeitos esperados de cada falha;
e) A valorização dos efeitos esperados segundo cada critério de risco através de funções de valor que representam as preferências intra-critério do decisor;
f) A ponderação da importância relativa dos vários efeitos esperados num valor de risco de severidade comensurável tendo em conta as preferências inter-critério do decisor;
g) Uma maior transparência nas variáveis que influenciam o nível de risco de cada falha, orientando a equipa de manutenção na definição, compreensão e seleção das ações de manutenção mais adequadas para reduzir os riscos associados a cada falha;
h) A classificação das falhas como toleráveis, críticas e muito críticas;
i) A priorização das falhas cujas ações de prevenção e controlo vigentes devem ser revistas.

Recomenda-se para futuras investigações que outros critérios de risco sejam integrados no cálculo do IMPR, em especial os recursos (e.g., custos e tempo) consumidos pela realização das ações de manutenção, por exemplo, através da introdução dos níveis de consumo desses recursos como critérios adicionais ou através da sua integração nos critérios de risco relativos aos custos e tempos (de reposição) identificados no estudo de caso deste artigo. Outra linha de investigação promissora inclui a seleção do portefólio ótimo de ações de manutenção que maximiza o IMPR do sistema considerando as restrições de disponibilidade de recursos (e.g., orçamento) da organização (Mateus et al., 2014).

Referências

Braglia, M. (2000). MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 17(9), 1017–1033.

Chen, J. K. (2007). Utility Priority Number Evaluation for FMEA. Journal of Failure Analysis and Prevention, 7, 321–328.

Clemen, R. T., Reilly, T. (2001). Making hard decisions with DecisionTools (2nd. ed.). Duxbury Thomson Learning.

Dhillon, B. S. (2003). Engineering Maintenance: A Modern Approach. CRC Press.

Ebeling, C. E. (2010). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering (2nd ed.). Waveland Press.

Edwards, W., Miles, R. F. Jr., von Winterfeldt, D. (Eds.) (2007). Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications. Cambridge University Press.

Goodwin, P., Wright, G. (2004). Decision Analysis for Management Judgment. Wiley and Sons, New York.

Keeney, R.L., Raiffa, H. (1976). Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. John Wiley & Sons.

Kirkwood, C. W. (1997). Strategic decision making: Multiobjective decision analysis with spreadsheets. Duxbury Press.

Liu, H. C., Liu, L., Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. Expert Systems with Applications, 40(2), 828-838.

Liu, H. C., Chen, X. Q., Duan, C. Y., Wang, Y. M. (2019). Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, 135, 881-897.

Mateus, R. J. G. (2017). Combining multicriteria value measurement with mathematical programming for modeling complex decisions: Applications in strategic forest management planning. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Mateus, R. J. G., Ferreira, J. A., Carreira, J. (2010). Full disclosure of tender evaluation models: Background and application in Portuguese public procurement. Journal of Purchasing and Supply Management, 16(3): 206-215.

Mateus, R. J. G., Ferreira, J. A., Lourenço, J. (2014). Afetação multicritério de recursos a portefólios de atividades da REFER. In: Oliveira, R.C.; Ferreira, J. S. (Ed.s) Investigação operacional em ação: casos de aplicação, 515-561. Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Stamatis, D. H. (2003). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution (2nd ed.). ASQ Quality Press.

Yoe, C. (2019). Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty. CRC Press, Taylor & Francis Group.

ID22
The Potential of Human Factors Integration in Production and Logistics Systems Dealing with Workforce Heterogeneity

Mónica Gaboleiro ([1]), Isabel L. Nunes ([1,2]), Maria Isabel Gomes ([3])
m.gaboleiro@campus.fct.unl.pt, imn@fct.unl.pt, mirg@fct.unl.pt

([1]) UNIDEMI – NOVA / Research & development Unit for Mechanical and Industrial Engineering, Caparica, Portugal
([2]) Department of Mechanical and Industrial Engineering, NOVA School of Science and Technology, Caparica, Portugal
([3]) NOVA Math & Department of Mathematics, NOVA School of Science and Technology, Caparica, Portugal

Abstract

Persons are unique and each has characteristics that make him/her different. Some persons are born with certain limitations and/or disabilities, or acquire them at some point in their lives. These persons deserve the same opportunities to live a dignified life and have decent working conditions. In addition, the world is facing phenomena that are changing the work environments. The increase in average life expectancy, combined with a low birth rate, means that the population is ageing at a very high rate. This poses a number of challenges for organisations, such as an ageing workforce. Lastly, with the phenomenon of globalisation, migration has been a solution for many seeking new opportunities, which means that organisations have to deal with an increasingly multicultural workforce.
The aim of this work is to contribute to organisations' awareness of the importance of adopting inclusive management approaches to achieve the Eighth and Tenth Sustainable Development Goals, addressing the inclusion of those perceived as 'less productive' without compromising productivity and system performance. In order to show organisations the potential of incorporating human factors into management philosophies, this work will characterise the best practices in this area through a literature review in the fields of human factors, human factors and management approaches, and human factors and optimisation models. By analysing a number of success cases, it has been possible to identify the potential of human factors integration both for the health and well-being of workers and for the performance of systems and therefore organisations.

Key-Words: Heterogeneous Workforce; Human Factors; Human-Centric Management; Inclusive Management; Production and Logistics Systems; Optimisation Models.

1. Introduction

Persons are a particularly powerful source of competitive advantage for organisations because they are unique and no other company will have persons with the particular skills, personalities and motivations of the members of another company (Wagner III & Hollenbeck, 2020). The differences between people begin in their genetic code as it is unique, giving them characteristics that can't be replicated in another person, such as physical, physiological and cognitive characteristics. There are also people who are born with a disability or who acquire a disability at some point in their lives. Some of these persons with disabilities are in working age (e.g. in Portugal, 10.9% of the resident population aged 5 years and over have at least one disability and 29.8% of these persons are aged 25-64, i.e. of working age (Instituto Nacional de Estatística, 2022). Although many employers have some concerns and misconceptions about the challenges to hiring and retaining persons with disabilities (e.g. in Portugal in 2021, 20.3% of persons with disabilities were unemployed, while the unemployment rate for persons without disabilities was 11.8% (Universidade Nova de Lisboa, 2023), there is a growing body of literature on the successes and benefits of employing them (Lindsay et al., 2018).

In the world today, there are multiple factors contributing to changing the workplace, such as drastic demographic changes and globalisation. The average life expectancy in Portugal has been increasing over the years, rising by around 4.1 years in the last 20 years, from 76.7 to 81 years (Pordata, Esperança de Vida e Mortes, 2023). Therefore, the ageing of the population, associated with a low natality rate, has increasing dramatically, and Portugal is considered one of the oldest countries in the European Union, with around 182 elderly persons (aged 65 and over) for every 100 young persons (up to 14 years old) (PORDATA, 2021). As a result, the average retirement age has

been increased. In 2022, workers retired 7 years later than in 2002 - the average retirement age rose from 58.2 to 65.2 years (Pordata, Idade média de reforma/aposentação, 2023). This is a growing trend: "(...) taking into account the effects of the evolution of the average life expectancy at age 65 seen between 2020 and 2021 (...), the normal age of access to a pension in 2023 is 66 years and 4 months" (República Portuguesa, 2021). The average age of the working population is also increasing, rising by 2.8 years between 2011 and 2021 (Instituto Nacional de Estatística, 2023). These data show that Portuguese are living longer, they are working longer and the average age of the working population in Portugal is therefore increasing. This demographic change is taking place all over the world, and in the European Union (EU) the increase in average life expectancy, combined with low fertility rates, means that the EU population is ageing at a very high rate. Organisations with an ageing workforce face several challenges, as older workers typically have chronic health conditions and a higher risk of workplace injury (older workers are more likely to have more serious injuries) (White et al., 2018), although these older workers are often more reliable, loyal and willing to stay in a job longer (Chand & Markova, 2019).

With the phenomenon of globalisation, migration has been a solution for many seeking new opportunities and better life conditions. In 2022, the migration balance in Portugal was 86.9 thousand persons - one of the highest figures ever recorded - with foreign citizens representing 7.5% of the total Portuguese population (INE, Pordata, 2023). It should be noted that it is becoming increasingly important to work on the integration of immigrants (INE, Pordata, 2023). It's necessary to work in these 3 directions because the foreign population is fundamental to the country's economic performance. To gain an edge, managers must be able to capitalise on these individual differences when designing tasks, building teams, structuring work and facilitating change. It is becoming increasingly important for managers to understand and be prepared to deal with the challenges posed by individual differences in persons's skills, personalities and motivations (Wagner III & Hollenbeck, 2020), as a diverse workforce is essential for a successful global economy (Lindsay et al., 2018).

Human Factors (HF) are already beginning to be considered in optimisation models, and research is also starting to combine human resource management (HRM) and operations management (OM). These two fields of study, HRM and OM, have been approached separately in research, but they are closely related because operations are mainly performed by people, and human resources become more effective when workers are positively encouraged to perform critical organisational tasks. A good starting point for a more sophisticated generation of operations management models is systematic research into how to integrate human resource issues (fatigue, boredom, forgetfulness, loyalty, motivation, etc.) into classical models of operations problems (e.g. simulation and optimisation). This integration can increase the computational complexity of the models, and the challenge for research is to be able to adequately include the relevant human behaviour in optimisation models and make them computationally trackable (Boudreau et al., 2003). In addition to considering HF and understanding how they can be taken into account when planning an organisation's activities, it is necessary to quantify them so that the cost-benefit of interventions can be measured in terms of worker health and well-being (Mills et al., 2007). The ultimate goal of the work to be developed is to show how organisations/companies may include individuals perceived as 'less productive' without compromising productivity and system performance using optimisation models.

The outcome of this work is expected to encourage organisations to adopt inclusive and people-centred management approaches, aligned with the UN Sustainable Development Goals (SDG), which were defined in 2015. The 2030 Agenda encompasses 17 SDG that aim to promote peace, justice and effective institutions by addressing the different dimensions of sustainable development (social, economic and environmental) in order to establish a contract between world leaders and persons, and a "list of things to do on behalf of persons and the planet" (ONU Portugal, 2018). The focus of this work is related with the eighth and tenth SDG: "Decent work and economic growth", which aims to "achieve higher levels of productivity in economies through diversification, technological modernisation and innovation"; and "Reduce inequalities within and between countries", which aims to "Ensure equal opportunities. Reduce inequalities of outcome by eliminating discriminatory laws, policies and practices" (ONU Portugal, 2018). In order to contribute to raise awareness among organisations regarding the potential of optimisation models in these management philosophies, this paper aims to characterise the best practices in this area, to understand how HF are included in optimisation models, which HF parameters are considered and what results have already been achieved.

The remainder of the paper is organized as follows: the chapter 2 seeks to analyse, in the literature, what could be considered as HF and what is included in this concept; the chapter 3 pretends to analyse the terms used to express management approaches that integrate HF in their operations management; in chapter 4 the objective is understand how Operations Research, in particular the optimisation models, are incorporating HF parameters; in chapter 5 the aim is to present and analyse some success cases of the incorporation of human factors in optimisation models; and the chapter 6 presents our conclusions and future remarks.

2. Human Factors

The terms “ergonomics” and “human factors” are often used interchangeably in the literature. The International Ergonomics Association (IEA) defined Human Factors/Ergonomics (HF) as “the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system. HF professionals apply theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance. They contribute to the design and evaluation of tasks, jobs, products, environments and systems in order to make them compatible with the needs, abilities and limitations of persons." (Human Factors and Ergonomics Society, s.d.). When analysing the HF definition, it can be seen that the subject of this work falls within this concept, since the aim is to take into account the individual characteristics of workers and, on this basis, to design work systems that simultaneously increase workers well-being and work system performance.
Ergonomics include three main areas: physical, cognitive and organisational aspects of the work system, as shown in Figure 1.

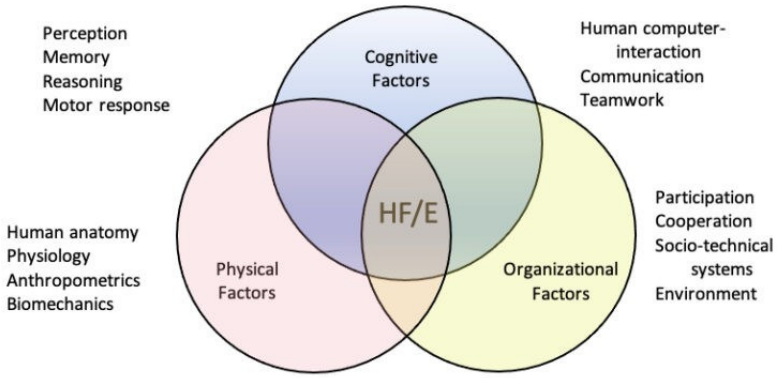


Figure 1. Three main areas of Human Factors / Ergonomics (IEA, 2021)

Physical HF is related to the anatomical, anthropometric, physiological and biomechanical characteristics of the human being and aims to analyse and evaluate the physical demands of a particular job on the muscles, joints and cardio-respiratory system. The objective is to identify, quantify and control the risk of discomfort, pain and injury resulting from these physical demands. This includes, for instance, the study of working postures, material handling, repetitive movements, work-related musculoskeletal disorders (WMSDs), workplace design, physical safety and health. Cognitive HF is concerned with mental processes such as perception, memory, mental workload, reasoning and decision making. Organisational HF concerns to communication, resource management, work design, working time management, teamwork, participative design, community ergonomics, collaborative working, new work paradigms, virtual organisations, teleworking and quality management (IEA, 2021) (International Labour Organization; International Ergonomics Association, 2021).

Grosse et al. (2015) (2017), Sgarbossa et al. (2020), and Vijayakumar et al. (2022) also adopted the IEA’s definition of HF, although, in the context of production and logistics systems (P&LS), these authors proposed four HF work aspects: perceptual, cognitive/mental, motor/physical and psychosocial. They recognised as perceptual those aspects of the worker's perceptibility that are related to the visual, auditory or tactile demands placed on them (e.g. information processing). As cognitive/mental, aspects related to the operator's cognitive state (e.g. learning/forgetting effect and mental workload). As motor/physical, the aspects related to the physical condition of the operator performing the task (e.g. energy expenditure, fatigue, risk of injury, and postures). Lastly, as psychosocial, the aspects included non-physical work dimensions such as job satisfaction, job demands, job control, work pressure, supervision, feedback, motivation and stress. Durak & Mutlu (2024) identified three ergonomic risks factor: the physical factors, such as handling loads and awkward postures; environmental factors, such as noise levels, lighting conditions in the workplace; and cognitive factors, such as cognitive load and mental stress. The terminology used by the authors is very similar to that used by the IEA, except that they employ the term 'environmental' in place of 'organisational', i.e. they focus only on the environmental aspects of the workplace.

3. HF and Management Approaches

HF have begun to receive more attention from organisations because of the impact they can have on the productivity of systems. Danna & Griffin (1999) point out that concern for the health and well-being of employees is becoming an increasingly important issue and that companies are increasingly concerned with the HF of the workplace because, although it is a financial investment, studies have shown positive effects not only on the health of employees but also on their efficiency and productivity. Many authors do not assign a terminology to the management approach that includes HF, referring to it simply as 'ergonomic risk' (Grosse et al., 2017) (Durak & Mutlu, 2024) (Battini et al., 2017), 'human factors incorporation' (Grosse et al., 2017) (Vijayakumar et al., 2022), and 'health and well-being in the workplace' (Danna & Griffin, 1999).

Dode et al. (2016) mentioned Human Factors Modelling as an approach through which system designers assess the physical and mental loads that workers are subject to when performing a specific task, in order to support engineers' decisions making. In a literature review, Lindsay et al (2018) summarised the benefits of employing persons with disabilities and referred to the issue as an 'inclusive/diverse work culture' approach for organisations. Mills et al. (2007) proposed a 'Health Promotion Programme' as a management approach to improve the health status of employees and, consequently, their work performance and organisational results. Sgarbossa et al. (2020) addressed the issue of human factors integration in production and logistics systems. They identified three research areas in this context: 'Human-centered Industrial Engineering' (multidisciplinary culture to design and manage diversity in inclusive work systems); 'Human-Centered Modelling' (analytical/simulation models to incorporate cognitive and physical aspects); and 'Human-Centered Management' (decision support systems for HRM and OM). Nourmohammadi et al. (2023) studied the inclusion of HF in the context of assembly line balancing with the proposal to aim at simultaneously balancing the workload and optimising the productivity, with WMSDs being considered as an aspect that affects the productivity of workers. They approached the issue as 'Human-Centric Manufacturing', promoting better health and well-being for their workforce. Calvazara et al. (2020) addressed the incorporation of HF into manufacturing systems, focusing on the age of workers and referring to the issue as 'Age-Friendly Workplaces and User-Centred Workspace'. Ciminni et al. (2019) approached the HF in logistics, specifically the challenges of the introduction of technology in the work of operators, emphasising the challenges of logistics 4.0 to them. They considered crucial to take HF into account in logistics systems and referred to the issue as 'Human-Centeric Logistics'. Katiraee et al. (2021) set out to analyse the impact of workforce differences in terms of skills, age, gender and anthropometric measures in manufacturing systems. They undertook a systematic literature review focusing on the studies that have considered and integrated workforce differences in models related to assembly line balancing, work/worker assignment, job rotation and workstation/layout design problems, and the term 'Human-Centred Assembly and Production Workspaces' was commonly used.

Different terminologies have been used to refer to management approaches that include HF, ranging from the simplest, which simply refers to the scope of the study, to more complex, which describes a methodology or process to achieve the goal of HF consideration. The most commonly used terms are 'human factors incorporation', 'ergonomic risk' and 'human-centered' with its variants 'human-centric' and 'human-centred', which have been used in different fields of study such as production and logistics and manufacturing.

4. HF and Optimisation Models

To analyse how optimisation models are incorporating the HF, the research will focus on production and logistics systems and workforce schedule, as these will be the areas of interest for future work. In the field of HF integration in production and logistics systems, there are three main literature reviews, namely the works of Grosse et al. (2017), Sgarbossa et al. (2020) and Vijayakumar et al. (2022).

Most decision support models for production and logistics systems (P&LS) regularly neglect HF and do not take into account the specific characteristics of human workers or the impact of these factors on the system or the worker performances. This often leads to unrealistic planning results or work schedules that may even be detrimental to the health and well-being of workers and the performance of the systems (Sgarbossa et al., 2020).

Although workers still play a central role in many production and logistics systems, the business world is facing an increasing trend of automation in almost all industries. Operational processes are typically characterised by a high amount of manual human work, so HF are largely responsible for determining system performance, (Grosse et al., 2017) (Sgarbossa et al., 2020). Neglecting HF can lead to operator fatigue, discomfort, subsequent injuries, and negative consequences for operator performance and the P&L system (Vijayakumar et al., 2022).

More than two decades ago, in 2003, Boudreau et al. (2003) highlighted the need to consider HF in operations planning. Since then, some work has been done to address this need, although it was not until 2015 that HF were incorporated into mathematical models for P&LS operations planning by Grosse et al. (Grosse et al., 2015). The authors propose a conceptual framework for integrating HF into order picking planning models to enhance the performance of the order picking system and workers' welfare. This serves as an initial step in recognizing the importance of HF into operations modelling.

By incorporating HF into production and logistics decision support models, the primary goal of these models (i.e. cost reduction) is extended to consider improved human safety and reduced risk of injury, with the ultimate goal of improving overall system performance (Grosse et al., 2017). Considering HF as a means to achieve both social and economic goals simultaneously is a promising approach to encourage the creation of a more integrated management approach (Sgarbossa et al., 2020).

Most of the work is in the area of Production and Assembly Line Design and Management (P&AM), e.g. Battini et al. (2017), Nourmohammadi et al. (2023) and Katiraee et al. (2021), followed by the area of Intralogistics and Warehouse Management, e.g. Cimini et al. (2019) and Grosse et al. (2015). Few papers focus on inventory management and lot sizing, e.g. Andriolo et al. (2016), and there are notable few frameworks in logistics systems that attempt to incorporate HF into P&L systems (Sgarbossa et al., 2020). Although HF can have a significant impact on the quality of operations (Sgarbossa et al., 2020), manufacturing quality has received the least attention in frameworks that address production systems (Vijayakumar et al., 2022). Most of the works aim at improving the performance of the operations, followed by improving the well-being of the workers (e.g. avoiding WMSDs), although there are also a few works that consider performance and well-being of the workers simultaneously (Sgarbossa et al., 2020). Vijayakumar et al. (2022) highlighted the need for HF in P&L systems frameworks to consider different levels of decision making. Most of research in the area focused predominantly on physical HF and less attention has been given to perceptual, cognitive and psychosocial aspects (Vijayakumar et al., 2022). In terms of the types of HF aspects that have been considered in the literature, the majority of works focus in physical HF, such as human energy expenditure (Battini et al., 2017), physical fatigue (Dode et al, 2016) and WMSDs (Pata & Moura, 2018). Physical factors can be assessed using e.g. the OCRA (Occhipinti, 1998) or EAWS (Schaub et al., 2013) methods and the NIOSH lifting index (Waters et al., 1993), for manual handling of loads, or by calculating the energy expenditure rate, referred to as the Ergonomic Risk Level Assessment (Genaidy et al., 1993). However, some works have begun to use technology tools to assess the ergonomic risk level as digital human modelling (Nourmohammadi et al., 2023). Fewer papers have focused on perceptual, mental or psychosocial aspects, such as job satisfaction and motivation. Works that consider multiple objectives, emphasizing both employee well-being and business performance needs, are still rare. This is highlighted by Sgarbossa et al. (2020) who add that most papers do not use real data or case studies to support the results of their models.

Grosse et al. (2017) pointed out that P&LS planning models that incorporate HF are divided into two different sub-areas, the works that consider physical factors and the works that investigate cognitive/mental factors. The HF could be integrated in the objective function, in the constraints or in both. Although, most of the models that consider physical HF integrate them as a constraint to the problem, defining a maximum level of work ergonomic risk or workload is defined that the solution cannot exceed (Bautista et al., 2016). However, some works follow a different approach and integrate HF directly into the objective function (Pata & Moura, 2018), and most of them are an extension of the traditional mathematical assembly line balancing models by introducing a function that also considers ergonomic aspects (Battini et al., 2017) (Nourmohammadi et al., 2023). This type of approach follows a multi-objective approach, where one of the objective functions optimises job allocation while the other the ergonomic aspect, as the minimisation of the ergonomic workload. With regard to cognitive/mental factors, most of the works reviewed consider HF as one of the model variables with a direct impact on production performance and quality (Dode et al, 2016). Several authors studied the impact of job rotation, scheduling and production strategies on operator performance and skills in terms of work saturation and tardiness (Anzanello et al., 2014), makespan reduction or productivity increase (Rinaldi et al., 2022). Since the modelling of cognitive and mental factors through an optimisation approach can result in a computationally complex model, simulation approaches have often been used in this kind of research (Dode et al, 2016).

Picking planning models where among the first problems to consider the health implications of manual handling. A popular approach to incorporate these factors has been to model them though the energy expenditure concept developed by Garg et al (1978). This approach makes it possible to estimate the metabolic costs associated with performing a manual task, as energy expenditure leads to accumulated fatigue, which in turn leads to health risks. These models are based on the bi-objective storage allocation models that aim to minimise both picking time and energy expenditure, or the evaluation of different rack configurations for order picking in terms of time and energy (Grosse et al., 2015).

In the area of workforce scheduling problems, Rinaldi et al. (2021) formulate a mixed-integer linear programming model to solve a scheduling problem in a workshop with ergonomic constraints. In order to improve the performance of the system and provide realistic results, workers' skills were included in the model. A novel approach was proposed to identify the skills of the workers, where workers' performance was calculated as the time required to perform a task, taking into account the different sequences of tasks performed. The authors considered as objective function the minimisation of the maximum makespan. To overcome the computational complexity of problem, a constructive heuristic procedure was developed.

Durak & Mutlu (2024) introduce the HF in a Home Health Care Routing and Scheduling Problem (HHCRSP). The work aims to find nurse-patient assignments and the nurses' routes that maximises the number of patients visited while minimizing the total daily workload of nurses. This latter objective serves as a proxy for modelling the risk of WMSDs and burnout, as nurses are often exposed to physical, mental and environmental risks. To assess the workload, the authors proposed a subjective assessment method and used a fuzzy inference system to calculate the nurses' perceived workload.

Gomes and Ramos (2019) developed a multi-objective optimisation approach based on mixed-integer models to address the topic of optimisation in home social care (HSC) in a case study, proposing a methodological approach based on optimisation tools to support the planning of caregivers' work schedules over several weeks, according to the pre-established loyalty scheme between caregivers and patients, and to allow the rescheduling of work schedules in case a user leaves the system. The authors proposed a route optimisation model with three objective functions to meet the specifications of HSC service providers, where the first objective function is the traditional travel time, the second minimises the impact of changing the visiting times of current patients, and the third is the workload balance objective function, modelled as a min-max objective, i.e. one aims to minimise the workload (defined as travel time plus service time) of the team with the highest workload.

5. Success Cases

There is already work showing that optimisation models bring benefits to systems by incorporating HF. This section describes four case studies that demonstrate that HF integration is a direction to follow.

Battini et al. (2017) formulated the integrated assembly line balancing and parts feeding planning problem and proposed a mixed-integer linear model in a detailed case study of the assembly of a self-priming pump. The case study shows that workplaces with high ergonomic risks can arise even in production processes where parts and work pieces of low weight are handled. The ergonomic risks were estimated based on the energy expenditure of the workers and were modelled both in the objective function and in the constraints. The authors proposed an integrated planning approach aimed at reducing labour costs and mitigating ergonomic risks at workstations. They were able to show that the proposed integrated planning approach can eliminate excessive ergonomic risks and simultaneously improve productivity indicators.

Dode et al. (2016) developed and tested a novel approach combining discrete event simulation and HF modelling and showed that it is possible to design production systems that are more productive and less hazardous to workers. This approach can predict the accumulation of operator fatigue, fatigue-related quality effects and productivity changes based on system design configurations. The authors conducted a simulation study through a case study comparing two production line designs in the context of electronics assembly, the existing system and the proposed system. In the demonstration comparison, the fatigue dose was between 7% and 33% lower in the proposed system where HF was considered in the design phase, and the learning curve effects were improved with 10.5% more products produced in the proposed system compared to a modelled existing system.

Nourmohammadi et al. (2023) studied the incorporation of musculoskeletal risks assessment in assembly lines focusing simultaneously on ergonomic and efficiency perspectives while balancing mixed model assembly lines. The authors conducted a case study of a large automotive company, and the problem was formulated as a mixed integer linear programming model with multiple objectives: minimise cycle time, minimise the maximum ergonomic risk of all workstations and minimise the sum of ergonomic risk over all workstations. Analysis of the results shows that a smooth distribution of time and ergonomic loads among workstations can be achieved when all three objectives are considered simultaneously.

Rinaldi et al. (2022) proposed a mathematical model that was tested on a case study from an Italian mechanical workshop. The model integrates ergonomics and human skills with the aim of improving system performance and achieving a trade-off between economic and ergonomic objectives. The results of the case study showed that, in the short term, it was possible to achieve an improved and more balanced ergonomic workplace with a slight reduction in the performance of the system. Furthermore, the increase in the time required to complete all the expected tasks was offset by a reduction of risk associated to manual lifting of loads to an acceptable level and by a reduction in all the ergonomic indicators in general. In addition, it has been shown that the system, by improving ergonomics, will have long-term benefits that will increase the well-being of the workers and the overall performance of the system.

In the context of home healthcare problems, Durak & Mutlu (2024) conducted two case studies to compare the impact of ergonomic risk incorporation and work balance in nurse scheduling problems. In case 1, workload constraints were included, whereas in case 2, these constraints were deliberately excluded. The model was applied to several problem instances by varying the number of patients and nurses to investigate the impact of workload on nurses' daily schedules. A significant reduction in both mean workloads and mean absolute deviations was achieved when workload constraints were considered. These results show that their approach not only reduces nurses' workload, but also creates more balanced schedules among nurses, potentially reducing the risk of work-related illness.

Having summarised the concepts inherent in HF and their integration into management approaches and optimisation models, it can be seen that HF have often been neglected and that there is still much to be done in this area. The described case studies have demonstrated that the incorporation of human factor in operation modelling brings benefits both to the health and well-being of workers and to the performance of systems, and therefore to organisations. There is still a lack of studies in the field of logistics, so future research should follow this direction. Moreover, further work is needed to address the modelling of perceptual, cognitive and psychosocial factors. Further studies with real cases are also needed in order to better support research and thus be able to incorporate this practice into business management planning.

6. Conclusion

Having summarised the concepts inherent in HF and their integration into management approaches and optimisation models, it is clear that they have often been neglected and that there is still much to be done in this area. The case studies described have shown that HF modelling brings benefits both to the health and well-being of workers and to the performance of systems and therefore organisations. There is still a lack of studies in the field of logistics, so future research should move in this direction. They should also address the modelling of perceptual, cognitive and psychosocial factors. Further studies with real cases are needed in order to better support research and thus to be able to integrate this practice into operations planning.

Acknowledgments

This work is funded by national funds through the FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., under the scope of the projects UIDB/00297/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDB/00297/2020) and UIDP/00297/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDP/00297/2020) (Center for Mathematics and Applications)

References

Calzavara, M., Bottini, D., Bogataj, D., Sgarbossa, F., & Zennaro, I. (2020). Ageing workforce management in manufacturing systems: state of the art and future research agenda. International Journal of Production Research, 58(3), 729-747. doi:10.1080/00207543.2019.1600759

Chand, M., & Markova, G. (maio/junho de 2019). The European Union's aging population: Challenges for human. Thunderbird Internation Business Review, 61(3), pp. 519-529.

Cimini, C., Lagorio, A., Pirola, F., & Pinto, R. (2019). Exploring human factors in Logistics 4.0: Empirical evidence from a case study. IFAC-PapersOnLine, 52(13), 2183-2188. doi:10.1016/j.ifacol.2019.11.529

Danna, K., & Griffin, R. W. (1999). Health and Well-Being in the Workplace: A Review and Synthesis of the Literature. Journal of Management, 25(3), pp. 357-384.

Dode, P., Greig, M., Zolfaghari, S., & Neumann, P. (2016). Integrating human factors into discrete event simulation: A proactive approach to simultaneously design for system performance and employees well being. International Journal of Production Research, 54(10), 3105-3117. doi:10.1080/00207543.2016.1166287

Durak, Z., & Mutlu, O. (2024). Home health care nurse routing and scheduling problem considering ergonomic risk factors. (E. Ltd, Ed.) Heliyon, 10(1), e23896. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e23896

Grosse, E. H., Calzavara, M., Glock, C. H., & Sgarbossa, F. (2017). Incorporating human factors into decision support models for production and logistics: current state of research. IFAC PapersOnLine, 50-1, pp. 6900-6905.

Grosse, E., Glock, C., Jaber, M., & Neumann, W. (2015). Incorporating human factors in order picking planning models: Framework and research opportunities. International Journal of Production Research, 53(3), 695-717. doi:10.1080/00207543.2014.919424

Human Factors and Ergonomics Society. (s.d.). About HFES: What is Human Factors and Ergonomics? Obtido em 26 de Janeiro de 2024, de Human Factors and Ergonomics Society: https://www.hfes.org/About-HFES/What-is-Human-Factors-and-Ergonomics

IEA. (2021). CORE COMPETENCIES IN HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS (HFE). INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). Obtido em 26 de janeiro de 2024, de https://m4v211.p3cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2021/07/Core-Competencies-in-Human-Factors-and-Ergonomics-2021-7-1.pdf

INE, Pordata. (02 de junho de 2023). Estatísticas sobre Portugal e Europa. Portugal. Obtido em 14 de janeiro de 2024, de https://www.pordata.pt/portugal/saldos+populacionais+anuais+saldo+total++saldo+natural+e+saldo+migratorio-657-5441

Instituto Nacional de Estatística. (2022). O que nos dizem os CENSOS sobre as dificuldades sentidas pelas pessoas com incapacidade. INE.

Instituto Nacional de Estatística. (23 de maio de 2023). Censos 2021: Profissões e Escolaridade. Portugal. Obtido em 14 de outubro de 2023, de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=611923478&DESTAQUESmodo=2

International Labour Organization; International Ergonomics Association. (2021). Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HFE) design and management of work systems. Obtido em 26 de janeiro de 2024, de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@lab_admin/documents/publication/wcms_826596.pdf

Katiraee, N., Calvazara, M., Finco, S., Battini, D., & Battaïa, O. (2021). Consideration of workers' differences in production systems modelling and design: State of the art and directions for future research. International Journal of Production Research, 59(11), 3237-3268. doi:10.1080/00207543.2021.1884766

Lindsay, S., Cagliostro, E., Albarico, M., Mortaji, N., & Karon, L. (2018). A Systematic Review of the Benefits of Hiring People with Disabilities. Journal of Occupational Rehabilitation, 28, 634-655. doi:https://doi.org/10.1007/s10926-018-9756-z

Mills, P. R., Kessler, R. C., Cooper, J., & Sullivan, S. (Setember/October de 2007). Impact of a Health Promotion Program on Employee Health Risk and Work Productivity. American Journal of Health Promotion, 22(1).

Nourmohammadi, A., Ng, A. H., Fathi, M., Vollebregt, J., & Hanson, L. (2023). Multi-objective optimization of mixed-model assembly lines incorporating musculoskeletal risks assessment using digital human modeling. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 47, 71-85. doi:10.1016/j.cirpj.2023.09.002

Occhipinti, E. (1998). OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. Ergonomics, 14(6), 1290-1311.

ONU Portugal. (2018). Nações Unidas - Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Portugal. Obtido em 14 de outubro de 2023, de Nações Unidas - Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental: https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/

Pata, A., & Moura, A. (2018). Applying Metaheuristics to Minimize Work-Related Musculoskeletal Disorders. International Journal of Technology and Human Interaction, 14(2), 17-34. doi:10.4018/IJTHI.2018040102

Pordata. (16 de dezembro de 2021). Indicadores de Envelhecimento. Obtido em 28 de abril de 2023, de https://www.pordata.pt/portugal/indice+de+envelhecimento+e+outros+indicadores+de+envelhecimento+segundo+os+censos-525

Pordata. (31 de maio de 2023). Esperança de Vida e Mortes. Obtido em 14 de outubro de 2023, de Pordata: https://www.pordata.pt/portugal/esperanca+de+vida+a+nascenca+total+e+por+sexo+(base+trienio+a+partir+de+2001)-418

Pordata. (19 de abril de 2023). Idade média de reforma/aposentação. Portugal. Obtido em 14 de outubro de 2023, https://www.pordata.pt/Portugal/Caixa+Geral+de+Aposentacoes+media+de+idades+dos+aposentados+reformados+a+data+da+aposentacao-1085

República Portuguesa. (17 de dezembro de 2021). TRABALHO, SOLIDARIEDADE E SEGURANÇA SOCIAL. Diário da República, nº 243, pp. 224-225.

Sgarbossa , F., Grosse, E., Neumann, W., Battini, D., & Glock, C. (2020). Human factors in production and logistics systems of the future. Annual Reviews in Control, pp. 295-305.

Universidade Nova de Lisboa. (2023). Pessoas com Deficiência em Portugal. INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E POLÍTICAS, OBSERVATÓRIO DA DEFICIÊNCIA E DIREITOS HUMANOS.

Vijayakumar, V., Sgarbossa, F., Neumann, W. P., & Sobhani, A. (2022). Framework for incorporating human factors into production and logistics systems. International Journal of Production Research, 60, pp. 402-419.

Wagner III, J. A., & Hollenbeck, J. R. (2020). Comportamento organizacional (4ª ed.). (S. F. Antunha, Trad.) São Paulo: Saraiva Educação.

ID23
CFD Modeling of Collection Efficiency in a Large-Scale Venturi Scrubber

M. J. Padrão ([1]), A. Carneiro ([2]), Â. E. Silva ([1]), N. Rodrigues ([2]), S.F.C.F. Teixeira ([1])
a104691@alunos.uminho.pt, a85203@alunos.uminho.pt, asilva@dps.uminho.pt, nrodrigues@dem.uminho.pt, st@dps.uminho.pt

([1]) Algoritmi/LASI, University of Minho, Portugal
([2]) Metrics, University of Minho, Portugal

Abstract

Venturi scrubbers are efficient tools for gas purification, recognized for their durable design and strong ability to capture micron-sized particles. They are utilized in different sectors for tasks like absorbing gas, cooling, and humidifying. These scrubbers are essential in gas purification for different industries such as power plants and textile factories because of their effectiveness in capturing small particles and ability to cool. The respective flow is complex, commonly referred to as an annular two-phase flow that is affected by the Venturi shape. Understanding these movements is fundamental for enhancing scrubber efficiency and lowering energy expenses. Computational Fluid Dynamics simulations were performed to examine a two-phase flow in a Venturi scrubber. The study employs Ansys software to model these flows and improve comprehension and applicability in industrial environments, investigating particle loading ratios to analyze the collection efficiency. The impact of the loading ratio on gas flow and pressure drop was examined, revealing that higher loading ratios result in elevated pressure drops along the Venturi. The conservation equations were solved using the finite volume method, with the gas flow being simulated as incompressible Newtonian, and the solid phase being modelled using a Lagrangian approach. The numerical model helps forecast how various scrubber designs will perform in different operating conditions, thus assisting in creating more effective gas cleaning systems.

Keywords: CFD, Venturi scrubbers, Two-phase, Gas flow

1. Introduction

The study of Venturi scrubbers has been a focal point for many researchers aiming to optimize these systems for industrial gas purification. These devices are renowned for their ability to capture fine particles through the interaction of gas and liquid phases in a constricted geometry.

Early research in the field primarily relied on empirical models to estimate key performance metrics such as pressure drop and collection efficiency. For instance, Calvert developed foundational correlations that linked the scrubber's performance to its geometric and operational parameters. This pioneering work highlighted the critical influence of throat velocity and the liquid-to-gas ratio on scrubber effectiveness.

With the advent of computational methods in the 1980s, studies began to employ numerical simulations to explore the intricate dynamics within Venturi scrubbers. McNamara, (1985) was among the first to utilize computational approaches, revealing complex interactions between gas and liquid phases that empirical models could not fully capture. Their work emphasized the importance of accurately modelling droplet dispersion and size distribution to predict scrubber performance accurately.

The introduction of Computational Fluid Dynamics marked a significant advancement in the study of Venturi scrubbers. CFD simulations provided a detailed view of the flow patterns and phase interactions, which are crucial for optimizing scrubber design. Researchers such as *Corona* leveraged CFD to study the effects of various geometrical configurations and operational conditions (Corona, 1998). Their findings demonstrated that droplet dynamics, including coalescence and breakup, play a vital role in achieving high collection efficiency.

Recent studies have further refined the use of CFD in analysing Venturi scrubbers. Advanced turbulence models and multiphase flow simulations have enabled a more precise representation of gas-liquid interactions. Sutherland, 2001 and Derksen, 2006 employed these sophisticated models to show that enhancing turbulence in the throat region and optimizing spray characteristics can significantly boost scrubber performance. Experimental research remains essential for validating CFD models and providing empirical data for simulation refinement. Bakke, 2010,

for example, conducted extensive experiments to measure pressure drops and collection efficiencies under various conditions, offering critical benchmarks for validating computational models.

The study by Silva *et al* contributes to this body of knowledge by employing CFD simulations to investigate two-phase flows in a large-scale Venturi scrubber. This research explores the impact of particle loading ratios on performance metrics, including collection efficiency and pressure drop. The use of ANSYS software for CFD modelling in this study provides a robust framework for simulating the complex interactions within the scrubber, offering insights that can guide the design of more efficient systems.

In summary, the extensive body of previous work on Venturi scrubbers has evolved from empirical correlations to sophisticated CFD simulations, each step enhancing our understanding and optimization of these critical industrial tools. The integration of computational and experimental approaches continues to drive advancements in scrubber technology, leading to more effective and energy-efficient solutions for gas purification.

The article aims to investigate the collection efficiency of a large-scale Venturi scrubber using CFD modelling. The research involves simulating the two-phase flow within the scrubber to understand how different parameters such as inlet gas velocity, liquid-to-gas ratio, and throat design impact the scrubber's performance. The study utilizes ANSYS software to model these interactions, aiming to enhance the scrubber's design for improved efficiency.

2. Materials and Methods

In this chapter, we will present the detailed geometry and meshing of the Venturi scrubber used for CFD simulations. The simulation models that will be resolved include the Navier-Stokes equations for incompressible Newtonian fluid flow, employing the realizable k-ε turbulence model for accurate turbulence prediction. The solid phase is modeled using a Lagrangian approach, tracking the movement of anthracite particles within the scrubber. We will also discuss the specific boundary conditions applied to ensure realistic simulation results. Additionally, the chapter will cover the simulation of solid particles to evaluate their behavior and capture efficiency within the Venturi scrubber, providing a comprehensive analysis of particle-surface interactions and their impact on the overall system performance.

2.2 Geometry and mesh

The air flow in Venturi scrubbers is a critical factor determining the efficiency of particle capture and the overall system performance. Understanding the dynamics of air flow within the scrubber is essential for optimizing design and operational conditions to ensure maximum particle removal with minimal pressure loss.

The air flow can be divided into three main regions: the converging section, the throat, and the diverging section (Breitenmoser et al., 2021). In the converging section, the air flow is accelerated as the cross-sectional area decreases, which is crucial for atomizing the liquid and forming fine droplets necessary for efficient particle capture. The acceleration also helps mix the air with the injected liquid, increasing the contact area between the two phases.

In the throat, the narrowest part of the scrubber, the air flow velocity reaches its maximum, enhancing particle capture efficiency by promoting collisions between liquid droplets and solid particles. The turbulence generated here intensifies mixing and mass transfer, improving particle removal.

In the diverging section, where the cross-sectional area increases again, the flow velocity decreases, allowing liquid droplets loaded with solid particles to coalesce and separate from the air, facilitating particle collection and aiding in energy recovery.

To model the air flow in a Venturi scrubber, CFD techniques are used. This approach allows for detailed simulation of the complex interactions between the air flow and the liquid and solid particles, providing a deep understanding of the system dynamics. The fundamental equations governing the air flow are the Navier-Stokes equations, which describe the conservation of mass and momentum in a fluid. These equations are solved numerically to predict the distribution of velocity, pressure, and turbulence.

Due to the high velocity and rapid changes in flow geometry, turbulence is significant in the air's behavior. The realizable k-ε turbulence model is often used for its ability to provide accurate predictions of turbulence intensity and dissipation (Ahmadvand & Talaie, 2010).

Particle collection efficiency in a Venturi scrubber is directly influenced by the characteristics of the air flow, such as flow velocity, turbulence, and pressure distribution. Higher velocities at the throat increase the collision rate between particles, enhancing capture efficiency, though excessively high velocities can increase pressure loss and operational costs. Turbulence helps disperse particles and promote collisions with the scrubber walls, where moderate turbulence is desirable, but excessive levels can cause re-entrainment of captured particles. Variations in pressure along the scrubber affect particle trajectories; a well-designed pressure distribution can optimize particle capture and overall scrubber performance.

To optimize air flow and collection efficiency, it is essential to adjust operating conditions, including the liquid-gas ratio (L/G), droplet size and distribution, and scrubber geometry. Adjusting the L/G ratio can optimize droplet formation and particle capture, balancing efficiency with pressure loss and liquid consumption. Controlling the size of injected liquid droplets directly influences capture efficiency, as smaller droplets have a larger relative surface area, promoting better particle capture, but can be more easily re-entrained. The shape and size of the converging section, throat, and diverging section should be designed to maximize flow efficiency and particle capture while minimizing pressure losses.

Overall, the air flow in a Venturi scrubber is a vital component affecting particle collection efficiency and overall system performance (Räsänen et al., n.d.). A detailed understanding of flow characteristics, coupled with CFD modeling, allows for the optimization of scrubber design and operating conditions, ensuring effective and economical particle removal. Careful analysis of flow parameters and their influences enables the development of more efficient and robust Venturi scrubbers for industrial applications.

In the context of this study, the geometry of the Venturi scrubber modeled in Design Modeler, an Ansys tool for modelling, includes a converging section, a throat, and a diverging section, each designed based on industrial standards to ensure relevance and applicability. The converging section narrows the flow path, which accelerates the gas velocity and facilitates the mixing of gas and particles. This section is crucial for enhancing particle collisions and improving overall capture efficiency.

The predictions for axial and overall pressure drops are contrasted with experimental data from a large-scale venturi scrubber, depicted in Figure 1, under various operating conditions.

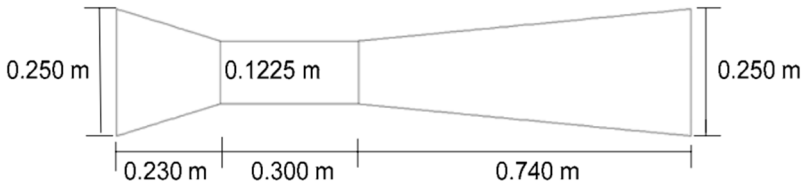


Figure 1- Schematic of venturi scrubber used.

Defining a correct mesh is crucial in Computational Fluid Dynamics (CFD) as it directly affects the accuracy, stability, and efficiency of simulations. A well-designed mesh captures essential flow details like sharp gradients and turbulence, ensuring more reliable results (Carneiro, 2022).
Accuracy hinges on the mesh's ability to represent complex flow features, with finer meshes offering better precision at the cost of increased computational resources. Stability relies on the quality of the mesh elements; well-shaped and properly aligned elements prevent numerical instabilities and ensure convergence. Computational efficiency depends on the mesh resolution, necessitating a balance between detail and resource use. Refining the mesh in regions with high gradients or complex interactions, such as near walls or high-velocity areas, ensures accurate representation of key flow features. A correctly defined mesh leads to accurate, stable, and efficient simulations, providing reliable insights and better-informed decisions
The 3D final mesh presents hexahedral elements, 75036 nodes and 69285 elements (figure 2).

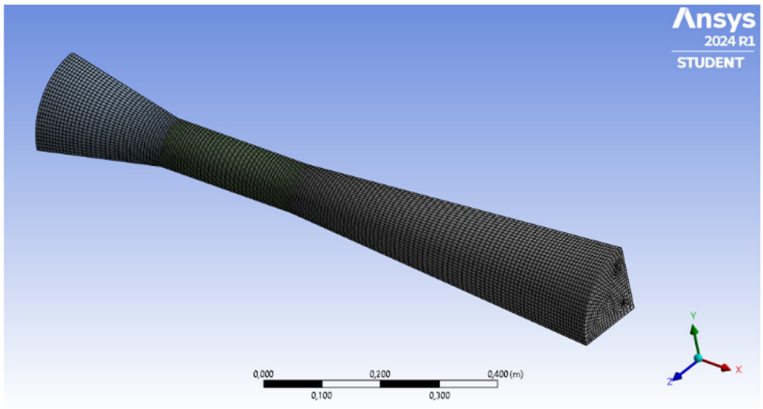


Figure 2 – Mesh of venturi scrubber used

Regarding quality, the values of the criteria can be found in Table 1.

Table 1 - Mesh quality parameters

QUALITY ASPECTS	AVERAGE
Skewness	0,13463
Orthogonal Quality	0,97603
Aspect Ratio	2,9808

2.2 Mathematical model

This study employs a comprehensive mathematical model to simulate the flow dynamics within a Venturi scrubber. The model includes the conservation equations for mass and momentum, essential for describing the behavior of the gas-solid two-phase flow.
The mass conservation equation is given by (1) where ρ is the fluid density, t is time, and u is the velocity vector.

$$div(\rho u) = 0 \tag{1}$$

The momentum conservation for incompressible Newtonian fluid flow is described by the Navier-Stokes equation, where ρ is the fluid density, u, v and w are the velocity components in the x, y, and z directions, and $\frac{D}{Dt}$ represents the material derivative.

$$\rho\left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u}\cdot\nabla)\vec{u}\right) = -\nabla p + \mu\nabla^2\vec{u} + \rho\vec{F} \tag{2}$$

Where ρ is the fluid density, u is the fluid velocity vector, t is time, $(u\cdot\nabla)u$ represents the convective acceleration, ∇p is the gradient of pressure p, μ is the dynamic viscosity, $\nabla^2 u$ is the Laplacian of the velocity field, representing the diffusion term and F represents external forces (such as gravity).
Given the significance and complexity of turbulent flow, it is essential to select a suitable turbulence model. For turbulent flow conditions, the realizable k-ε model is used, incorporating the following equations:

$$\rho\frac{\partial}{\partial x_i}(ku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\alpha_k \mu_{eff}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_k - \rho\varepsilon \tag{3}$$

$$\rho\frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + G_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k - C_{2\varepsilon}.\rho.\frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon \tag{4}$$

2.3. Fluid Properties and Boundary Conditions

Accurate boundary conditions are essential for obtaining realistic simulation results. In this study, specific boundary conditions are applied to ensure the fidelity of the simulations. At the inlet, the air velocity is specified along with turbulence intensity and hydraulic diameter to define the turbulence parameters accurately. At the outlet, an outflow boundary condition is used, allowing both the gas and particles to exit the domain seamlessly. For the walls of the scrubber, no-slip conditions are applied, and wall functions are employed to model the effects of turbulence near the surfaces.

When modelling a Venturi tube in ANSYS, the following boundary conditions were used to ensure accurate simulation of fluid dynamics and particle behaviour: simulation of fluid dynamic and particle behaviour, k-ε realizable model, a turbulence model found to be robust for both simple and complex turbulent flows. In general, k-ε realizable provides better accuracy for a wide range of flow problems, particularly complex shear flows and boundary layers with separation and recirculation. Besides that, the discrete phase mode model was activated so that the behaviour of particles can be illustrated within fluid flow, which was essential to introduce and track the movement of anthracite through the Venturi tube. Air was chosen as the working fluid because it is widely used in Venturi flow and easy to simulate, considering that the definition of properties for this fluid is easy to do. Aluminium was put in the solid parts of the Venturi tube due to its structural properties as well as due to its uses within practical engineering. Anthracite particles were added to observe how their behaviour in the airflow is; anthracite particles were chosen due to them being different from other ones, thus they were adequate to be traced by the simulation as a type of tracer. All parameters were simply injected with uniform diameter anthracite particles into the airflow to observe the particle spread and their behaviour. The injection was done with an initial particle velocity of 20 m/s in the x direction for a realistic injection condition. A uniform particle diameter of 1 micrometre in size (1x10^-6 meters) was used to have a consistent particle size for tracking purposes. In this research, a flow rate of 0.01 kg/s of the injection was applied. This is to infer a highly controlled introduction of particles into the system. An inlet velocity of 34 m/s was implemented using a velocity inlet boundary condition, to represent the simulated condition for the entry of air into the venturi tube at a specific speed. Thereby ensuring a controlled and uniform flow. The outlet was defined as a pressure outlet with the escape condition, which allows the air and particles to leave the Venturi tube without reflecting to the system. The boundary condition makes the simulation of an open-ended system such that the flow can freely discharge. The walls of the Venturi tube were treated as a stationary wall with no-slip boundary conditions, which states that fluid velocity at the wall surface is zero relative to the wall. These realistic boundary conditions ensure that the effect of friction and the boundary layer along the walls of the Venturi tube is accurately simulated.

These boundary conditions were selected in a way that it represents real-life situation and would provide a complete understanding in respect to fluid dynamics and particle behaviour inside a Venturi scrubber.

2.4 Solid Particle Flow

In the simulation of particle collection in a Venturi scrubber, incorporating solid particle flow and analyzing different particle sizes are critical for understanding the scrubber's efficiency and optimizing its design. The modeling of solid particles within the Venturi scrubber involves tracking their movement, interactions, and capture mechanisms as they travel through the gas flow. In CFD simulations, the particles are often treated as discrete entities within the continuous gas phase. This approach allows for the detailed examination of how particles interact with the gas and the scrubber's surfaces. Key aspects include how particles are entrained, how they collide and how they adhere to or are re-entrained from the walls.

In Fluent, the trajectories of a discrete phase particle are determined by solving the force balance equation on the particle. This equation is expressed in a Lagrangian reference frame for the x-direction in Cartesian coordinates, as follows:

$$\frac{du_P}{dt} = F_P(u - u_P) + g\frac{\rho_P - \rho}{\rho_P} + F_x \quad (5)$$

Where u is the fluid phase velocity, u_D is the particle velocity, μ is the molecular viscosity of the fluid, $\rho$is the fluid density and ρ_D is the droplet density. The first term in the right side of equation (5) accounts for the drag force and F_D is the drag force, given by:

$$F_P = \frac{18\mu}{\rho_P d_P^2}\frac{C_P\, Re}{24} \quad (6)$$

Where μ is the molecular viscosity of the fluid and $d_D$is the droplet diameter.

The second term in the right side of equation (6) accounts for the gravity effects and F_x includes additional forces such as thermophoretic force, Brownian force, Saffman's lift force which can be important only in certain circumstances. However, provided that the particles meet the condition that $\rho_D \geq \rho$, these two terms can be neglected.

Using multiple particle sizes in simulations is crucial for a comprehensive analysis of the scrubber's performance. Particles of various sizes behave differently under the same flow conditions. Larger particles are generally captured more efficiently due to their higher inertia and likelihood of impact on surfaces. Smaller particles, however, may be more challenging to capture due to their lower inertia and greater likelihood of being carried along with the gas flow. By modeling particles of different sizes, the simulation can provide insights into the scrubber's effectiveness across a range of particle types and sizes.

In practical terms, simulations involving two different particle sizes allow for a more nuanced understanding of the scrubber's ability to handle a range of particulate matter. For instance, the analysis might reveal how the scrubber performs under varying conditions and how different particle sizes affect overall collection efficiency and pressure drop. This information is valuable for designing scrubbers that are effective across a spectrum of operational scenarios and for optimizing parameters such as flow rates and scrubber geometry.

Overall, incorporating solid particle flow and using multiple particle sizes in CFD simulations helps in accurately predicting the performance of Venturi scrubbers. It enables the identification of design improvements and operational adjustments needed to enhance the efficiency of particle capture and to address the challenges posed by different types of particulate matter. In particle-surface interactions within Venturi scrubbers, two significant phenomena can occur: reflection and adhesion. When particles reflect off the surface, they do not stick but rather bounce away. This can be due to high impact velocities or the inherent elasticity of the surface, which may give particles enough kinetic energy to rebound into the gas flow. Reflection can reduce the efficiency of the scrubber by allowing particles that were initially captured to escape back into the system, potentially leading to less effective particulate removal.

On the other hand, adhesion occurs when particles collide with a surface and stick to it (Ali et al., 2020). This process is influenced by the surface's characteristics, such as roughness, material, and wettability, as well as the properties of the particles themselves, like their size, shape, and composition (Ahmed et al., 2018). When particles adhere, they form a layer on the surface, which can enhance the scrubber's efficiency by providing additional surface area for capturing particles. However, as the layer of adhered particles grows, it increases the resistance to gas flow, resulting in a higher pressure drop across the scrubber. This accumulation also necessitates regular cleaning to maintain optimal performance, adding to maintenance costs and potentially leading to increased downtime.

Understanding these interactions is crucial for optimizing the design and operation of Venturi scrubbers to balance effective particle capture with operational efficiency and maintenance requirements.

2.5 Numerical solution

The SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) algorithm is used by Fluent, to couple the momentum and continuity equations for the gas phase. In the momentum and turbulence equations discretization, the second order implicit method was applied. Fluent solves the continuity and momentum equations in every control volume of the domain. The turbulence parameters are then calculated. Once convergence has been achieved, the particle trajectories are determined and after these calculations the continuous phase source terms are updated, in a two-way coupling approach.

The ANSYS modeling of a Venturi uses the Coupled scheme for pressure-velocity coupling and Second Order Upwind for momentum discretization.

3. Results and discussion

Figure 3 clearly shows the velocity behavior along a Venturi tube. Initially, the velocity increases rapidly in the converging section, then remains constant at a maximum value in the throat, and finally decreases in the diverging section, while pressure increases while pressure increases. However, the pressure will not fully recover to its initial value (Figure 4).

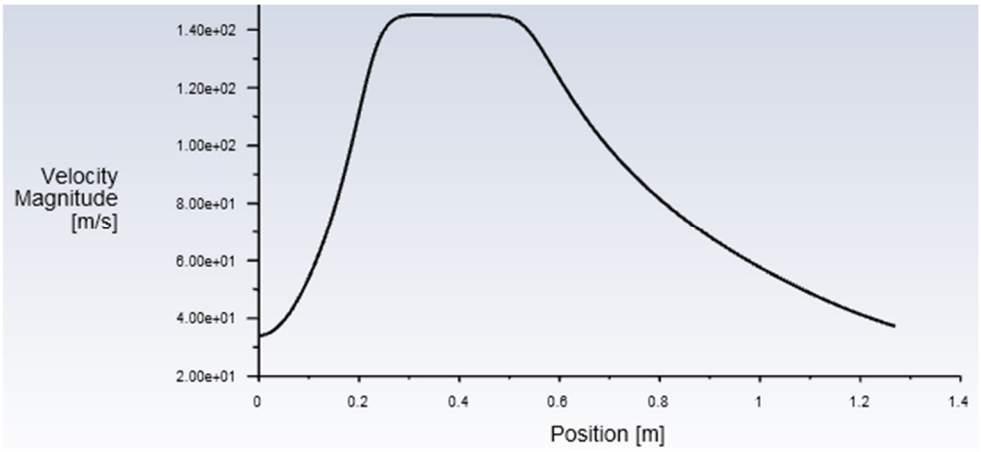


Figure 3- Velocity profile along the Venturi

Based on Figure 3, the maximum velocity achieved by the Venturi is 154.2 m/s. This value is indicated by the highest point on the velocity curve, showing the peak speed recorded during the experiment. This information is essential for assessing the performance limits of the Venturi under the tested conditions.

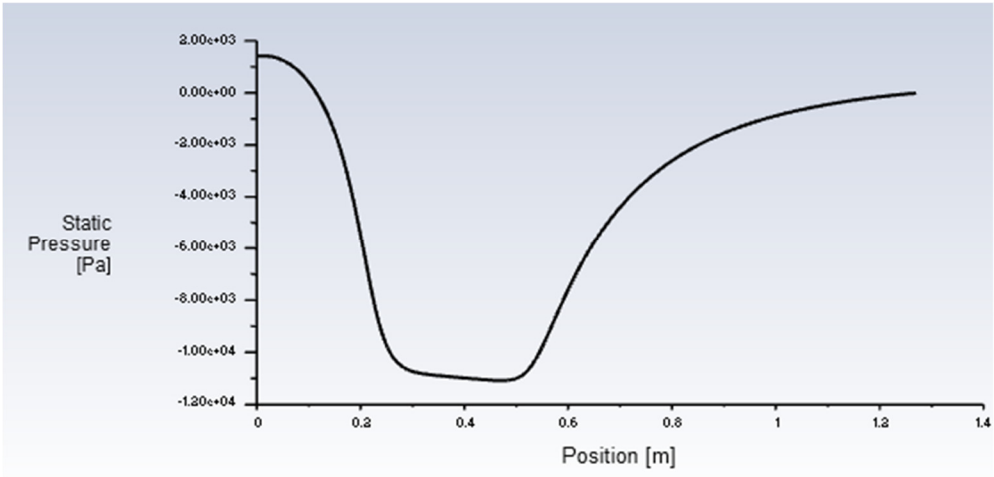


Figure 4- Pressure drop along the Venturi

By solving equations 5 and 6, we determined the trajectories of particles through the Venturi, as shown in Figure 5. These equations allow us to model how particles move as the fluid passes through the constriction. The calculations reveal how the pressure drop affects the velocity and path of the particles, demonstrating the effect of the reduced pressure in the throat region. This detailed analysis helps in understanding the distribution and behaviour of particles under varying pressure conditions, which is crucial for optimizing the Venturi's performance in practical applications.

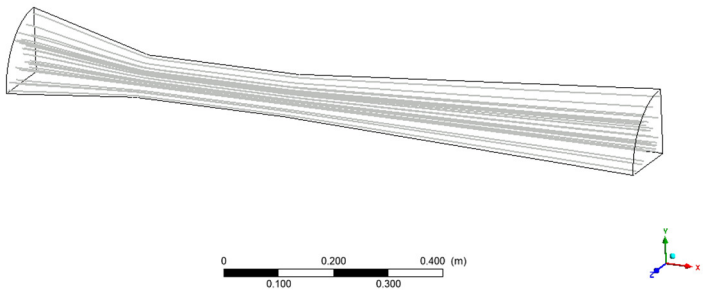


Figure 5- Particle path along the venturi

4. Conclusion

This study utilizes CFD modelling to analyse the two-phase flow of gas and solid particles in a large-scale Venturi scrubber. The results show that parameters such as inlet gas velocity, solid particle trajectories, and throat design significantly impact the scrubber's performance. Optimizing these parameters can enhance flow dynamics and reduce operational costs.

References

Ahmadvand, F., & Talaie, M. R. (2010). CFD modelling of droplet dispersion in a Venturi scrubber. *Chemical Engineering Journal*, *160*(2), 423–431. https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.03.030

Ahmed, S., Mohsin, H., Qureshi, K., Shah, A., Siddique, W., Waheed, K., Irfan, N., Ahmad, M., & Farooq, A. (2018). Investigation of dust particle removal efficiency of self-priming venturi scrubber using computational fluid dynamics. *Nuclear Engineering and Technology*, *50*(5), 665–672. https://doi.org/10.1016/j.net.2018.01.016

Ali, S., Waheed, K., Qureshi, K., Irfan, N., Ahmed, M., Siddique, W., & Farooq, A. (2020). Experimental investigation of aerosols removal efficiency through self-priming venturi scrubber. *Nuclear Engineering and Technology*, *52*(10), 2230–2237. https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.019

Bakke, R., & S. T. (2010). Experimental study on the performance of large-scale Venturi scrubbers. *Chemical Engineering Research and Design*.

Breitenmoser, D., Papadopoulos, P., Lind, T., & Prasser, H. M. (2021). Droplet size distribution in a full-Scale rectangular self-priming Venturi scrubber with liquid film injection. *International Journal of Multiphase Flow*, *142*. https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103694

Carneiro, A. M. M. (2022). *Simulação CFD do processo de desenfumagem de um parque de estacionamento* [Dissertação Mestrado], Universidade do Minho.

Corona, P. (1998). Simulation of gas-liquid interactions in Venturi scrubbers using CFD. *Chemical Engineering Science*.

Derksen, J. J. (2006). Multiphase flow simulations in Venturi scrubbers. *AIChE Journal*.

McNamara, B. F., & G. D. (1985). Flow characteristics of Venturi scrubbers. *Journal of Environmental Engineering*.

Räsänen, N., Mäkelä, P., Lindgren, M., & Pekkala, O. (n.d.). *Venturi scrubber development and implementation to industry scale*. https://ssrn.com/abstract=3926057

Silva, A. M., Teixeira, J. C. F., & Teixeira, S. F. C. F. (2009a). Experiments in a large-scale venturi scrubber. Part I: Pressure drop. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *48*(1), 59–67. https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.02.001

Silva, A. M., Teixeira, J. C. F., & Teixeira, S. F. C. F. (2009b). Experiments in large scale venturi scrubber. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *48*(1), 424–431. https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.05.007

Sutherland, J. C., & P. R. (2001). CFD modelling of Venturi scrubbers: Analysis of turbulence effects. *Journal of Fluid Mechanics*.

ID24
Gestão de consumíveis e atualização da lista de materiais numa empresa do setor automóvel

Jennifer Lopes ([1]), Ângela Silva ([2])
Pg49938@uminho.pt, asilva@dps.uminho.pt

([1]) Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
([2]) ALGORITMI Research Centre, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

Resumo

Devido à crescente necessidade de satisfazer cada vez mais o cliente e existindo maior competitividade no mercado exige-se que as organizações reduzam e se possível eliminam o máximo de desperdício possível. Uma gestão eficaz da Cadeia de Abastecimento garante uma relação eficiente entre todos os evolventes, desde os fornecedores aos clientes.
Assim, neste projeto propõem-se a atualização do material consumível existentes na *Bill of Materials*, este material encontra-se presente nas diferentes linhas de produção final com o objetivo de armazenar e/ou transportar o produto em questão em conformidade com as medidas exigidas pelo cliente.
Após se fazer um estudo de levantamento de dados através do SAP, é possível verificar que existem bastantes anomalias em diferentes referências, causando erros nas determinações de stocks existentes em armazém. A solução encontrada será a atualização da BOM e das Gamas de instruções de embalagem.

Palavras-Chave: *Bill of Materials*, Gama de embalagens, stocks

1. Introdução

A dinâmica, competitividade e velocidade em constante crescimento dos mercados atuais estão impondo uma pressão cada vez maior às empresas, levando-as a buscar maior eficiência, flexibilidade e eficácia em seus processos e tomadas de decisão. Isso visa a redução de custos, minimização de riscos e aproveitamento mais eficiente das oportunidades de mercado. Portanto, torna-se essencial para as empresas procurarem constantemente a melhoria dos seus sistemas, permitindo uma resposta ágil às necessidades e mudanças do mercado, para que seja atingido o sucesso (Ferreira, 2019).

Alcançar a diferenciação competitiva no mercado envolve a busca contínua pela otimização e aprimoramento dos procedimentos logísticos, visando alcançar padrões de excelência (Mentzer et al., 2001). A importância crescente da Logística no contexto empresarial tem levado as organizações a priorizarem a excelência no serviço logístico e na integração da cadeia de abastecimento. Reconhecem que isso pode ser fundamental para assegurar um alto padrão de atendimento, além de possibilitar a redução de custos, fator determinante para o êxito de qualquer empresa.

De acordo com (Costa, 2020) para garantir constantemente altos níveis de satisfação e serviço ao cliente, as empresas são impelidas a buscar constantemente inovação, reorientando-se para manter um foco contínuo tanto no cliente quanto nos objetivos estratégicos corporativos.

2. Revisão bibliográfica

Shah & Ward (2007) definem lean manufacturing como uma estratégia de trabalho que aumenta a eficiência do processo, a confiança do cliente e gerem melhores resultados. Também representa uma perspetiva abrangente relacionada com a sustentabilidade e simplificação das operações no que diz respeito a preços, tempos, desperdícios e qualidade (Thanki et al., 2016).

O método dos 5S é um método reconhecido e aplicado no âmbito da gestão organizacional, especialmente em ambientes de produção e operações. Este método, destinado à redução de desperdícios e à promoção da eficiência, destaca-se pela sua capacidade de estabelecer um ambiente de trabalho visualmente controlado. Ao adotar os

princípios dos 5S, as organizações conseguem implementar melhorias significativas nos seus processos, resultando em operações mais eficazes e eficientes (Pinto et al., 2018).
O termo "5S" tem suas raízes na cultura japonesa e deriva do facto de que cada uma das cinco etapas iniciais do método começa com a letra "S" em japonês: *Seiri, Seiton, Sixo, Seiketsu, Shitsuke*. O significado dos 5'S segundo (Rewers et al., 2016):

- Seleção (*Seiri*): Consiste na identificação e remoção de objetos considerados desnecessários no posto de trabalho, otimizando assim a sua utilização e eficiência.
- Ordenação (*Seiton*): Tem como definição a existência de locais específicos para cada objeto, facilitando o acesso e reduzindo o tempo perdido na procura dos objetos necessários
- Limpeza (*Seiso*): Consiste numa limpeza regular do ambiente de trabalho, onde permite assim a identificação das fontes que causam a sujeira.
- Normalização (*Seiketsu*): Consiste em regras e procedimentos padronizados para garantir a continuidade dos três primeiros métodos identificados acima, assegurando que essas práticas se tornem parte integrante da cultura organizacional.
- Disciplina (*Shitsuke*): Corresponde à última e mais desafiadora etapa do método 5S. Envolve a criação de hábitos e manutenção da disciplina necessária para seguir os procedimentos estabelecidos.

Um dos métodos mais reconhecidos na gestão da qualidade total (TQM) é a aplicação da ferramenta do ciclo PDCA *(Plan, Do, Check e Act*). Este ciclo é um método essencial para promover a melhoria continua e a excelência nos processos da organização. Segundo Saier (2017) o ciclo PDCA é um processo de resolução de problemas em quatro etapas, consistindo em:

- Planear (*Plan*): Estabelecer novos processos, identificando um problema e as metas a alcançar;
- Fazer (*Do*): Após o planeamento implementa-se as ações definidas na etapa anterior;
- Verificar (*Check*): Nesta etapa realiza-se a avaliação dos resultados obtidos comparado com os resultados desejados;
- Agir (*Act*): Com base na análise dos resultados, é a altura de corrigir eventuais desvios ou ajustar os planos. Caso existem bons resultados o processo deve ser padronizado.

A cadeia de abastecimentos contém um papel fundamental para a empresa, é designado por cadeia de abastecimentos todas as partes envolvidas no cumprimento de necessidades para o cliente, desde o fabricante, fornecedores, transportadores, armazéns, retalhistas e até os próprios clientes (Chopra, 2016),
Figura 1. Segundo (Lambert, 2008) cada vez mais a cadeia de abastecimento é vista como uma rede de negócios e relacionamento entre empresas.

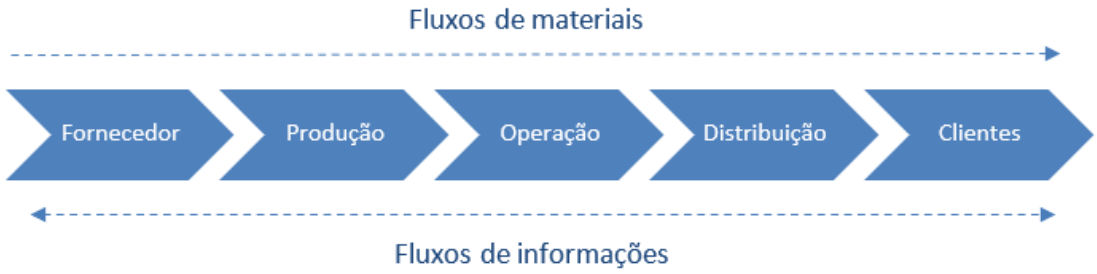


Figura 1-Fluxo de Materiais e Informações

As embalagens desempenham um papel fundamental nas cadeias de abastecimento, como a proteção, a conservação e o armazenamento (Johansson, 1997). Tendo como principal função assegurar que o produto chega em boas condições ao cliente, garantindo que o produto final sofra o minimio de danos possíveis (Gomes, 2010).
De acordo com Kotler (2000) também é necessário o embalamento manter-se sempre limpo para que o material seja apto a ser comercializado. Num ponto de vista financeiro como sustentável, as embalagens eficientes conduzem a uma cadeia de abastecimento também eficiente (Gnoni, 2011).
Numa empresa é necessário existir um controlo nos *stocks*, segundo Carvalho (2020) divide os *stocks* em dois tipos: *stock* de segurança e *stock* cíclico, encontra-se representado na Figura 2. O *stock* de segurança assegura os níveis de serviço, isto é satisfazer as necessidades evitando a rotura do produto, já o *stock* cíclico encontra-se relacionado com a tentativa de rentabilização dos stocks, através de economias de escala, operações de produção, montagem e transporte, como em compras de grandes dimensões, procurando obter descontos de quantidade e preços mais baixos.

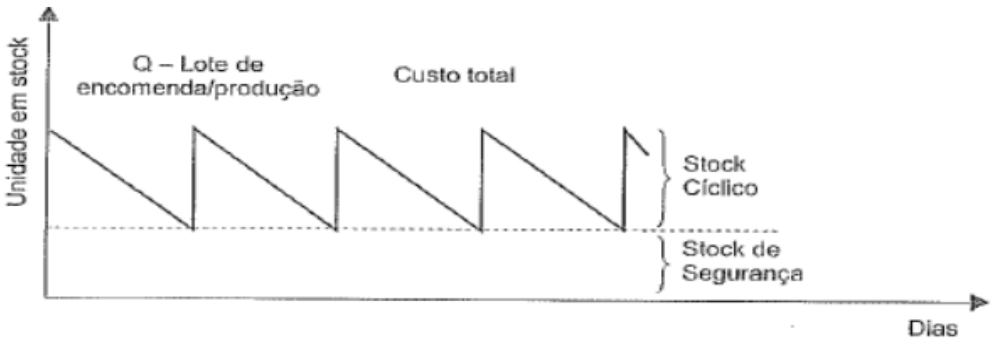


Figura 2- Stock cíclico vs Stock segurança. Adaptado: (Carvalho, 2020)

Ao existir níveis inadequados de *stocks*, levam a fatores dispendiosos e prejudiciais para a empresa, existindo roturas ou excessos de *stocks*. Uma rotura de *stocks* pode provocar perdas de vendas e insatisfação no cliente (Anand & Cunnane, 2009)(Chen et al., 2010).

Assim para ajudar nos *stocks* existem alguns sistemas ERP. Este sistema é caracterizado por ser um pacote de *software* modular voltado para apoiar a gestão integrada dos processos de negócios nos diversos departamentos da empresa. Permitindo essa estar relacionada com os seus parceiros, clientes, prestadores de serviços e fornecedores (Akkermans et al., 2003).

O SAP encontra-se distribuído em diferentes módulos, que auxiliam transações para executar processos de negócio, tais como:

- SAP MM - *Material Management* (Gestão de Materiais);
- SAP WM - *Warehouse Management* (Armazenamento);
- SAP SD - *Sales and Distribution* (Vendas e Distribuição);
- SAP FI - *Financial Accounting* (Contabilidade Financeira);
- SAP PP - *Production Planning and Control* (Planeamento da Produção);
- SAP QM- *Quality Management* (Administração de Qualidade);
- SAP PM - Plant Maintenance (Planeamento da Manutenção);
- SAP PS - *Project System* (Projetos)
- SAP HR- *Human Resources* (Recursos Humanos).

Assim, através dos dados do SAP é descarregado a *Bill of Materials* designada por BOM, que é um documento técnico que detalha a estrutura do produto, pormenorizando as distintas composições e as diferentes relações entre o produto final, a sub montagem e as peças ou materiais. Para além disso segundo (Lewis, 2003), a BOM especifica as quantidades necessárias para cada componente, esta estrutura deve ser simples e eficiente, englobando todos os processos e produtos (Garwood, 2004).

É necessário existir um bom Planeamento de Necessidades de Materiais (MRP) para uma empresa, sendo utilizado para gerir processos logísticos e auxiliar os gestores de produção de forma eficiente. Os objetivos do MRP é melhorar o atendimento ao cliente, minimizar o investimento em *stock* e maximizar a eficiência operacional da produção (Najy, 2020).

3. Metodologia e métodos

Para que fossem atingidos o objetivo deste projeto é necessário identificar a metodologia a adotar, assim após uma análise critica dos objetivos do projeto optou-se neste caso em utilizar a metodologia Investigação-ação, sendo a metodologia que mais se adequa neste projeto. Esta metodologia tal como o próprio nome indica, consiste num tipo de investigação ativa onde existe um envolvimento direto do investigador, ao longo deste processo continuo são realizadas melhorias relativamente aos dados analisados, métodos e interpretações utilizadas.

Segundo (Clara et al., 2009) o que melhor caracteriza a investigação-ação é o facto de ser uma metodologia de pesquisa, estando relacionada com uma área mais prática. Esta metodologia encontra-se dividida em diferentes fases: Diagnóstico, Planeamento, Implementação, Avaliação e Discussão de resultados.

A primeira fase consiste no diagnóstico onde recolheu-se os dados existentes na Borgwarner, identificando o problema e analisando-o. No final da realização dos planos de ação estes serão posteriormente implementadas as propostas realizadas e a sua monitorização de forma a avaliar e recolher os resultados.

Foi desenvolvido num ambiente empresarial, empresa *Borgwarner*, onde inicialmente se fez o reconhecimento do funcionamento das linhas de produção e do armazém, tal como as BOM's de matérias consumíveis. De seguida analisou-se os documentos da BOM, do ficheiro da Gama e por fim os dados presentes em produção, de forma a encontrar problemas relacionado com a diferença de quantidades mencionadas nos diferentes ficheiros.

4. Descrição e Análise Crítica

Com o objetivo de analisar os consumíveis existentes nas referências de *part numbers*, determinou-se que os requisitos básicos para obter essa análise seria: análise das Gamas de embalagem, o embalamento presencial e a BOM. Assim existiu uma recolha de dados de todos os *part numbers* que contém consumíveis no seu embalamento para um ficheiro Excel. Para que fosse possível uma melhor perceção sobre as anomalias analisou-se todas as áreas da fábrica (*Coolers*, Eletrónica, *Heaters,* Tubos e Válvulas).
Após a análise de todos os *part numbers*, verificou-se as inconformidades. Essas inconformidades foram classificadas de A a D, como se verifica na Tabela 1.

Tabela 1- Tipos de erros encontrados

	TIPOS DE ERROS	
CLASSIFICAÇÃO	A	Gama incorreta
	B	BOM incorreta
	C	Erro Humano
	D	Produzem e não se encontra em planeamento

As inconformidades verificadas causam problemas para a BorgWarner, principalmente para os *packaging manager*. Uma das funções do *packaging* manager é gerir todos os componentes necessários para o embalamento, essas quantidades são geridas através das quantidades mencionadas na BOM. Como se verificou na Tabela 1 uma das inconformidades é a BOM causando assim excessos ou roturas de *stocks*.

A BOM é um ficheiro que contem uma lista detalhada de materiais, onde descreve todos os componentes necessários para uma certa referência de produto acabado. Neste projeto foi necessário retirar esses dados através de uma exportação em SAP, na Figura 3 encontra-se uma lista de materiais da referência E1XXXX27640A1 com todos os componentes e quantidades necessárias.

Material	Required quantity	Component	Description	Comp. Qty (CUn
E1620027640A1	20,000	E1080013838A0	GASKET FOR FLNG Ø30.8x8-60-	20,000
E1620027640A1	20,000	E1080010699A0	GASKET (2 SLOTS)	20,000
E1620027640A1	20,000	E1620027640AA	M9T Inlet EGR Tube Brazing	20,000
E1620027640A1	20,000	E3910005665	BRAZING PASTE Ni-N2-JAPONESA(PER S-1448	0,240
E1620027640A1	20,000	E1620041655A0	EGR TUBE ASSEMBLY	20,000
E1620027640A1	20,000	E1140041657A0	EGR TUBE Ø30.8 x 0.5 (1 BENDS RADII 40)	20,000
E1620027640A1	20,000	E1140041638A0	STRAIGHT TUBE (6 BELLOWS)	20,000
E1620027640A1	20,000	E1140038644A0	STRAIGHT TUBE Ø30.8 x 0.5 L350	20,000
E1620027640A1	20,000	E1650027642A0	ELBOW-FLANGE -60-	20,000
E1620027640A1	20,000	E1650023350A0	ELBOW-FLANGE Ø30.8	20,000
E1620027640A1	20,000	E1150046291A0	CLAMP	40,000
E1620027640A1	20,000	E9020008974	Bolsa Plástica Galia10/11 60x70	1
E1620027640A1	20,000	E1400009228	Separador 600x400x5mm	2

Figura 3- BOM da referência E1XXXX27640A1

Após a recolha da lista de materiais foi necessário proceder a uma verificação de quais dos componentes eram classificados como materiais consumíveis. De seguida recolheu-se os dados dos consumíveis utilizados para cada material e analisou-se a veridicidade das quantidades mencionadas em BOM para cada componente.

No total foram analisados 229 *part numbers* de produtos finais, produtos prontos para clientes. Esta análise foi efetuada durante um longo período devido a não existência constante de produção das referências pretendidas. Registou-se um total de 121 *part numbers* com anomalias.

4.1 Estado atual das linhas dos *Coolers*

A área dos *Coolers* é constituída por 15 linhas de produção, sendo analisada cada referência das diferentes linhas. No total o número de referências presentes até ao momento são de 65, verificando 34 anomalias. Após se apurar as anomalias, essas foram analisadas de forma a verificar a(s) causa(s) do(s) problema(s).

Em suma, é possível concluir que na área dos *Coolers* existe 37% de anomalias relacionadas com a "Gama incorreta", 54% de "BOM incorreta", 9% "Erro Humano" e nenhuma percentagem de "Produzem e não se encontra em planeamento", observa-se na Figura 4 que a anomalia mais recorrente é a nomeada por "BOM".

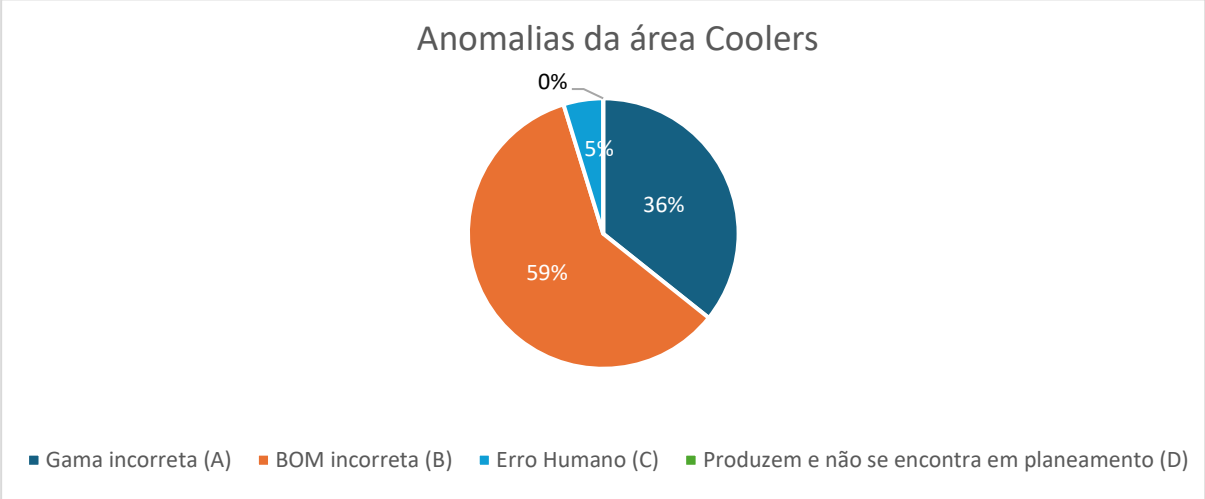


Figura 4-Anomalias da área dos Coolers

4.2 Estado atual das linhas da Eletrónica

Na área da Eletrónica foram analisadas 4 linhas de produção, analisando cada referência das diferentes linhas. Até ao momento foram verificadas no total 25 referências, existindo 12 anomalias.

Após a identificação das anomalias, essas foram analisadas de forma a nomear os problemas subjacentes, em suma, é possível concluir que na área da Eletrónica existe 25% de anomalias relacionadas com a "Gama incorreta", 69% de "BOM incorreta", 6% "Erro Humano" e nenhuma percentagem de "Produzem e não se encontra em planeamento", observa-se na Figura 5 que a anomalia mais recorrente é a nomeada por "BOM".

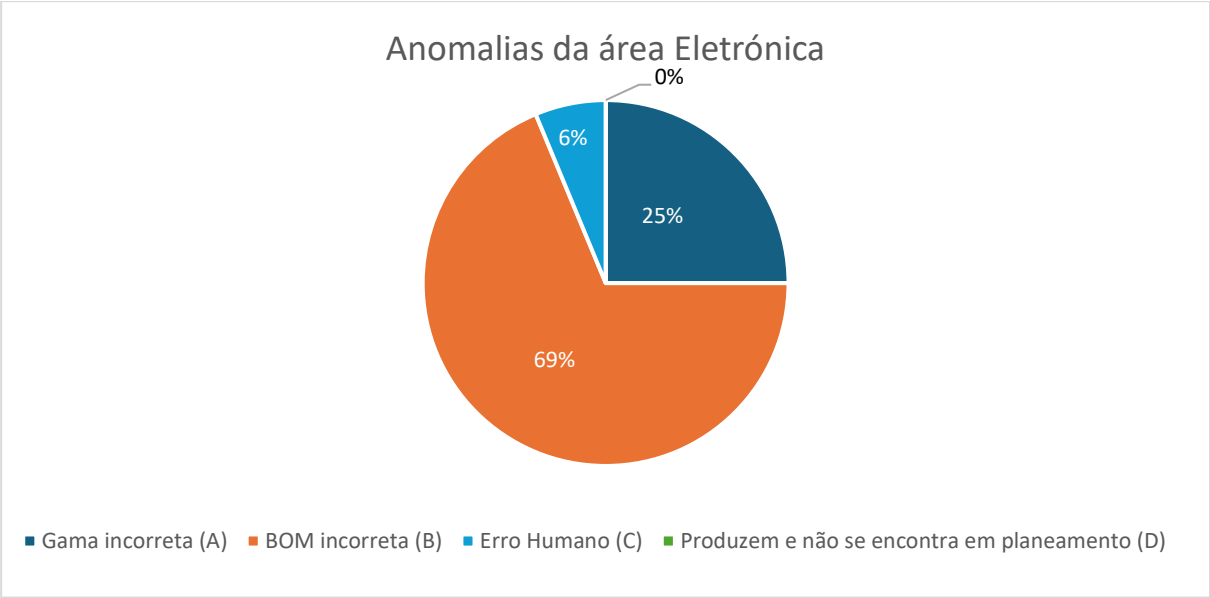


Figura 5-Anomalias da área da Eletrónica

4.3 Estado atual das linhas dos *Heaters*

Heaters é a área nova da empresa, nessa área analisou-se 24 referências sendo que 5 contém anomalias. Após se apurar as anomalias, essas foram analisadas de forma a verificar a(s) causa(s) do(s) problema(s). Através da Figura 6 é possível afirmar que 50% das anomalias têm origem em Gamas incorretas, sendo que 33% é relativo à BOM e 17% erros humanos.

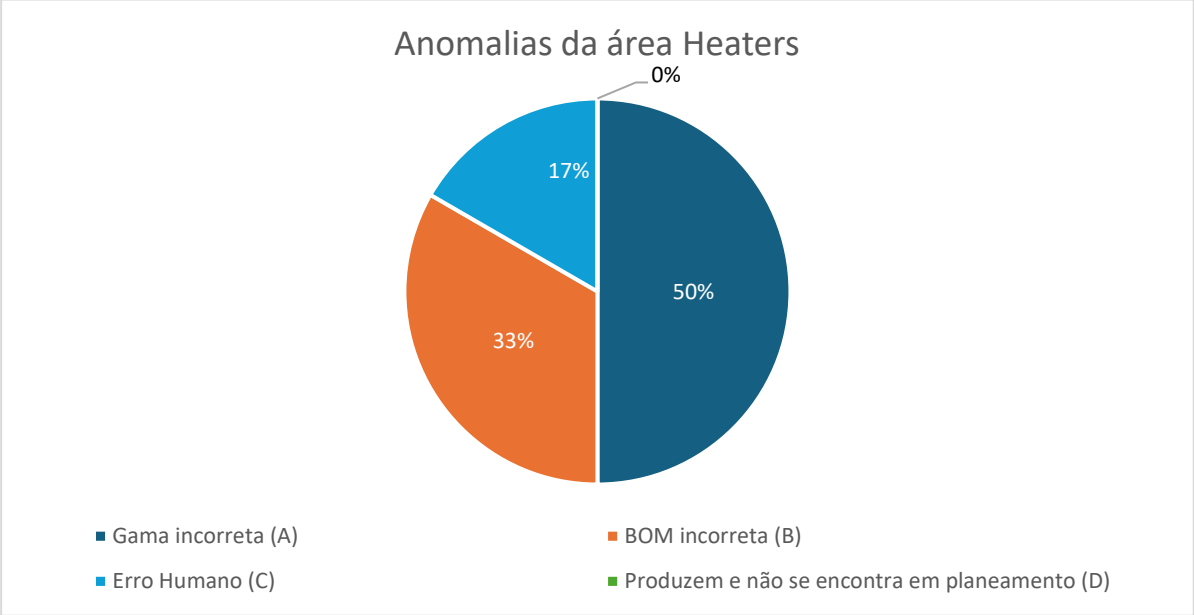


Figura 6- Anomalias da área dos Heaters

4.4 Estado atual das linhas dos Tubos

Analisou-se na área dos tubos 10 linhas de produção, com várias referências diferentes. Foram analisadas 63 referências com um total 46 anomalias. Após a identificação de todas as anomalias encontradas nas referências analisadas, procedeu-se à determinação dos problemas encontrados.

Em síntese, é possível concluir que na área das válvulas existe 35% de anomalias relacionadas com a "Gama incorreta", 58% de "BOM incorreta", 6% "Erro Humano" e 1% de "Produzem e não se encontra em planeamento, Figura 7.

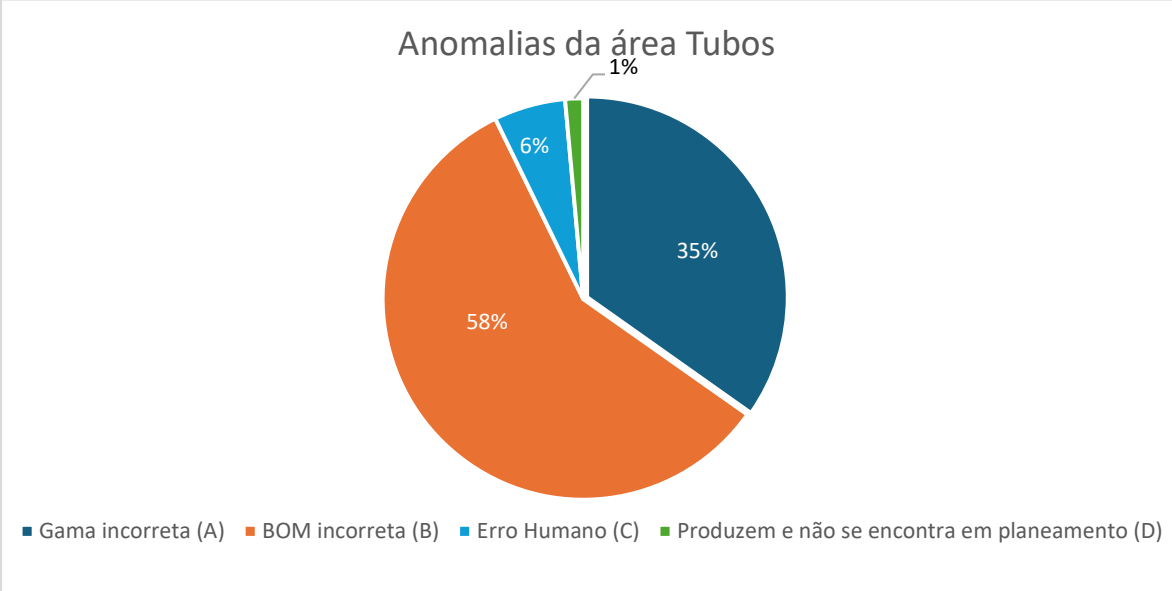


Figura 7- Anomalias da área dos Tubos

4.5 Estado atual das linhas das Válvulas

Na área das Válvulas, foram examinadas 15 linhas de produção distintas, com uma análise detalhada de cada consumível associado a cada referência de produto final. Até o momento, foram identificadas 46 referências e durante esse processo foram detetadas 23 anomalias.
Em suma, é possível concluir que na área das válvulas existe 17% de anomalias relacionadas com a "Gama incorreta", 73% de "BOM incorreta", 10% "Erro Humano" e nenhuma percentagem de "Produzem e não se encontra em planeamento", observa-se na Figura 8 que a anomalia mais recorrente é a nomeada por "BOM".

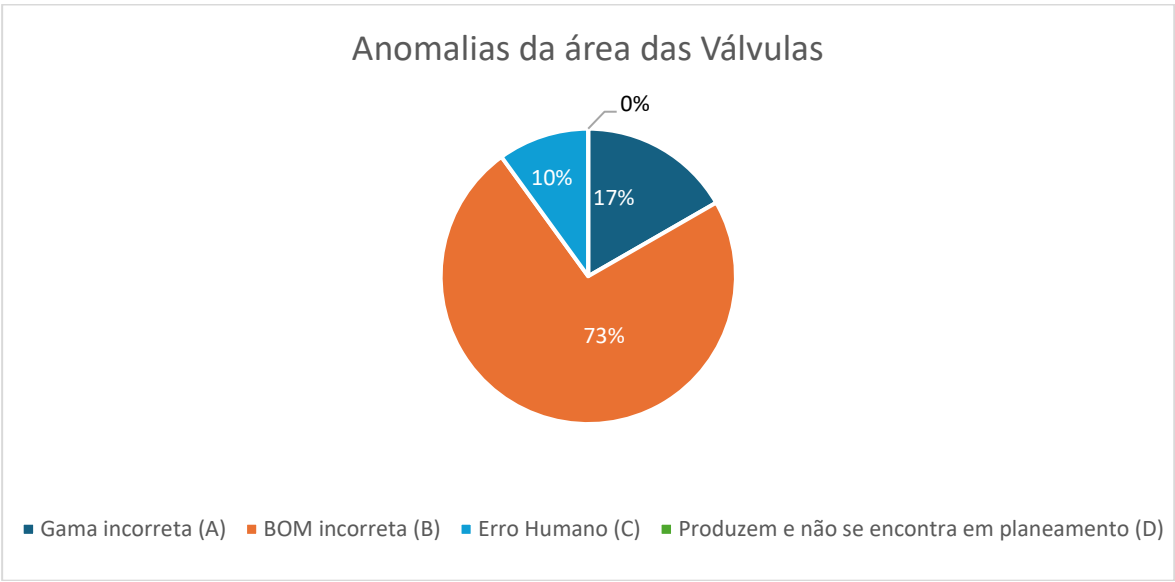


Figura 8- Anomalias da área das Válvulas

5. Apresentação de propostas de melhoria

Neste capítulo são enumeradas algumas propostas de melhoria relacionadas aos problemas encontrados através do Capítulo 4 assim este capítulo visa a encontrar soluções para esses problemas. No decorrer do capítulo será analisado apenas a área dos *coolers*.

5.1 Área dos *Coolers*

Após a análise de todas as referências na área dos *Coolers*, é necessário realizar alterações na BOM, Gama de embalagens e Real. Essas alterações são cruciais para assegurar a eficiência dos processos, garantindo que todos os componentes estejam corretos com a exigência da produção. A quantidade de alterações sugeridas para esta área de produção, são de no total de 72 alterações nas diferentes referências de produto final, Figura 9.

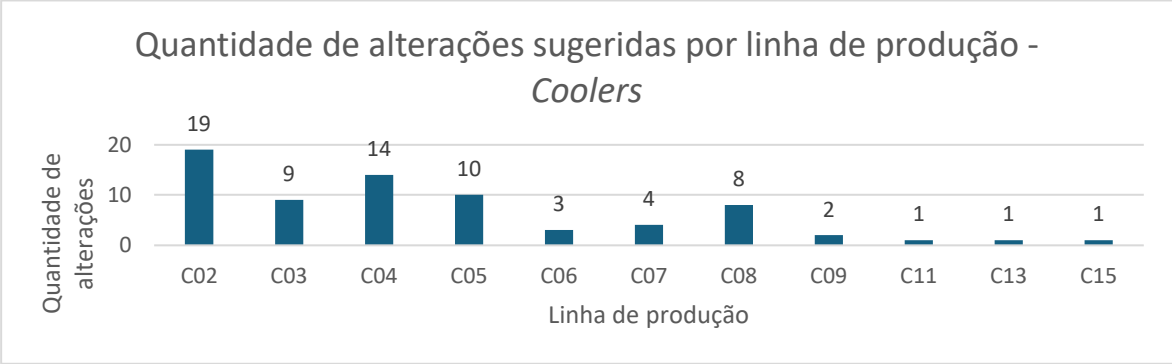


Figura 9- Quantidade de alterações sugeridas por linha de produção nos Coolers

Um exemplo de proposta de melhoria, encontra-se representado na Tabela 2, onde na linha 7C09 identificam-se duas anomalias, uma na Gama e outra na BOM. Na referência XEXXXXXX9098B1, é necessário alterar na Gama o saco anti corrosão (EXXXXXX9196), atualmente esse se encontra representado a 0.04 sacos pois a referência está para um pack de sacos, sendo necessário alterar isso para unidades individuais. De maneira similar, a referência XEXXXXXX8970B1 contem um saco anti corrosão (EXXXXXX9202) estando associado a um conjunto de 50 sacos, necessitando a mesma correção para unidades individuais.

Tabela 2- Proposta de melhoria para a linha 7C09

	COOLERS				
	REFERÊNCIAS	BOM	GAMA	REAL	EMBALAMENTO
7C09	XEXXXXXX9098B1	_____	O saco anti corrosão (EXXXXXX9196) encontra-se com **0,04** -> colocar 1 saco anti corrosão	_____	Serie
	XEXXXXXX8970B1	Sacos anti corrosão (EXXXXXX9202) estão classificados na BOM como 1 conjunto de 50 sacos, neste caso: Alterar-> de **1** para **50** sacos	_____	_____	Serie

6. Apresentação de resultados

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados prevenientes das alterações sugeridas no capítulo 4. Os dados são expostos de forma a clarificar os resultados obtidos com o estudo deste caso.

6.1Área dos *Coolers*

Devido às anomalias detetadas, as linhas de produção são afetadas por falta de material para embalamento. Assim através de uma base de dados interna foi possível apurar as paragens obtidas por falta de embalagem, sendo que

essa base de dados não contém informações de todas as linhas da área dos Coolers. Na Tabela 3 encontra-se a média dos tempos perdidos por falta de embalamentos, no período de 12 meses, de maio 2023 a maio 2024.

Tabela 3-Tempos de paragens das linhas dos Coolers

LINHAS	C02	C03	C08	C11	C12	C13	C15
Média por mês minuto	169,583	32,666	17,666	35,333	63,5	54	96,5
Média por mês hora	2,826	0,544	0,294	0,588	1,07	0,9	1,608

Cada trabalhador custa à empresa 14,5€/hora. Na Equação 1 encontra-se um exemplo do custo que envolve a paragem por mês da linha C02, com apenas 1 operador:

Equação 1- Custo de 1 operador parado por falta de embalagens na C02

$$\text{Linha C02} = 2{,}829 * 14{,}5€ * 1 = 40{,}98€$$

Sendo que as linhas de produção contém mais de 1 operador, é necessário efetuar o calculo para a quantidade de pessoas que ficam paradas por linha. Na Tabela 4 encontra-se esses dados para os 12 meses, dando um total de 6 603,54 €.

Tabela 4- Custo total das paragens por falta de consumíveis nos Coolers

	1 MÊS	12 MESES
LINHA C02 (5 OPERADORES):	204,91 €	2 458,96 €
LINHA C03 (3 OPERADORES):	23,68 €	284,20 €
LINHA C08 (4 OPERADORES):	17,08 €	204,93 €
LINHA C11 (6 OPERADORES):	51,23 €	614,80 €
LINHA C12 (6 OPERADORES):	92,08 €	1 104,90 €
LINHA C13 (7 OPERADORES):	91,35 €	1 096,20 €
LINHA C15 (3 OPERADORES):	69,96 €	839,55 €
TOTAL:	550,30 €	6 603,54 €

6.2 Poupança de custos entre junho e julho em apenas na área dos *Coolers*

Assim através dos dados anteriores é possível concluir que em dois meses existiram 1 106, 10 euros poupados, em apenas uma área de produção da empresa.
Assim ao aplicar para todas as áreas é possível obter grandes poupanças para a empresa, ao longo dos meses.

Tabela 5- Poupança de custos no mês de junho e julho – Área dos coolers

	1 MÊS	2 MESES
LINHA C02 (5 OPERADORES):	204,91 €	409,83 €
LINHA C03 (3 OPERADORES):	23,68 €	47,37 €
LINHA C08 (4 OPERADORES):	17,08 €	34,16 €
LINHA C11 (6 OPERADORES):	51,23 €	102,47 €
LINHA C12 (6 OPERADORES):	94,83 €	189,66 €
LINHA C13 (7 OPERADORES):	91,35 €	182,70 €
LINHA C15 (3 OPERADORES):	69,96 €	139,93 €
TOTAL:	553,05 €	1106,10 €

7. Conclusão

A atualização da *Bill of Materials* (BOM) e das Gamas de embalagem (instruções de embalagens) em uma empresa do setor automóvel são fundamentais para um bom funcionamento, assegurando a eficiência operacional. A atualização da BOM garante a listagem correta dos materiais necessários, prevenindo erros na produção e assegurando a qualidade do embalamento final. Da mesma forma, as atualizações das Gamas de embalagem reduzem erros de embalamento.
Assim, com a atualização é essencial não apenas a evitar desperdício/ escassez de material, mas também custos adicionais de transportes. Uma cadeia de abastecimento eficiente permite um planeamento mais eficaz de stock e reduzindo riscos de falta de componentes.
Por fim, com este projeto foi possível concluir que ao atualizar as Gamas e BOM's é possível poupar um valor significativo para a empresa.

Referências

Akkermans, H. A., Bogerd, P., Yücesan, E., & van Wassenhove, L. N. (2003). The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study. European Journal of Operational Research, 146(2), 284–301. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00550-7

Anand, S., & Cunnane, C. (2009). Inventory optimization: Retail strategies for eliminating stock-outs and over-stocks. 50, 22–24.

Carvalho, J. C. (2020). Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento (3º). Edições Sílabo.

Chen, H., Chen, Y. (Frank), Chiu, C. H., Choi, T. M., & Sethi, S. (2010). Coordination mechanism for the supply chain with leadtime consideration and price-dependent demand. European Journal of Operational Research, 203(1), 70–80. https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2009.07.002

Chopra, S. M. P. (2016). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (6ª). Pearson.

Costa, F. da S. (2020). Otimização' do processo de criação e compra de novas referências de embalagens. https://hdl.handle.net/1822/66117

Ferreira, J. M. da C. (2019). Melhoria da Gestão de Stocks de Peças Sobresselentes. https://hdl.handle.net/1822/62099

Garwood, Dave. (2004). Bills of materials for a lean enterprise. Dogwood Pub. Co.

Gomes, A. F. A. da C. (2010). Design de Embalagens Sustentáveis para Brinquedos. Universidade técnica de Lisboa.

Kotler, P. (2000). Marketing Management (10ª). Prentice-Hall Internacional Editions.

Lambert, D. M. (2008). Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance (3ª). Supply Chain Management Institute.

Lewis, M. S. N. (2003). Operations Management (Taylor & Francis, Vol. 4).

Mentzer, J. T., Flint, D. J., Tomas, G., & Hult, M. (2001). Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. Journal of Marketing, 82, 82–104. https://doi.org/10.1509/jmkg.65.4.82.18390

Najy, R. J. (2020). MRP(Material Requirement Planning) Applications In Industry-A REVIEW. https://www.researchgate.net/publication/350488962

Pinto, J. L. Q., Matias, J. C. O., Pimentel, C., Azevedo, S. G., & Govindan, K. (2018). Just in Time Factory. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77016-1

Rewers, P., Trojanowska, J., & Chabowski, P. (2016). Tools and methods of Lean Manufacturing-a literature review. https://www.researchgate.net/publication/308171328

Saier, M. C. (2017). Going back to the roots of W.A. Shewhart (and further) and introduction of a new CPD cycle. International Journal of Managing Projects in Business. https://doi.org/10.1108/IJMPB-11-2015-0111

Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. Journal of Operations Management, 25(4), 785–805. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019

Thanki, S., Govindan, K., & Thakkar, J. (2016). An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. Journal of Cleaner Production, 135, 284–298. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105

ID25
Parameter Sensitivity of the SEIZ Model to Study the Propagation of Untrue Information

M. F. Ribeiro ([1,2]), D. M. Botelho ([1,2]), S. F. C. F. Teixeira ([1,2]), M. T. T. Monteiro ([1,2])
a104773@alunos.uminho.pt, id10948@alunos.uminho.pt, st@dps.uminho.pt, tm@dps.uminho.pt

([1]) Department of Production and Systems, University of Minho, Portugal
([2]) ALGORITMI/LASI, School of Engineering, University of Minho, Portugal

Abstract

The widespread accessibility of social networks enables individuals to easily create and share digital content. This makes them a source of local and global news for millions of users and influences decisions in areas such as economics, politics, and health. This ease of dissemination also entails significant risks with the spread of false information. Identifying fake news remains a complex and unresolved issue, making it crucial to understand the dynamics of news propagation to develop effective preventive and/or corrective measures.
Epidemiological models crossed the borders of health and biology and provide a useful framework for studying information spread. This paper explores the application of the SEIZ (Susceptible, Exposed, Infected, and Skeptic) model to understand the spread of (mis/dis)information on social networks. MATLAB software was used to implement the model and analyze parameter sensitivity, enabling a detailed examination of how different factors influence the propagation of false information.
The findings reveal distinct effects of various parameters on (mis/dis)information dissemination. Notably, increased contact rates between Susceptible and Infected individuals result in a higher number of Infected cases and a decrease in Skeptics. Conversely, elevated values of contact rates between Susceptible and Skeptical individuals reduce the number of Infected cases and increase in Skeptics. Additionally, a rise in the incubation rate accelerates the spread of (mis/dis)information by raising the number of Infected individuals and decreasing the number of Exposed individuals.
These results underscore the intricate interplay of parameters shaping untrue information dynamics on social networks, offering crucial insights for developing targeted interventions.

Keywords: Disinformation, Epidemiologic Model, Fake News, Misinformation, SEIZ Model

1. Introduction

In today's digital age, social media has become one of the most important sources of information all over the world. Its scalability and rapid dissemination capabilities have greatly improved communication, enabling the seamless sharing of messages across various online platforms. These advancements have revolutionized information exchange, making it possible to swiftly distribute content globally with unparalleled efficiency (Barni et al., 2022).

However, there is a dark side of online social media as well. Its popularity and massive use have expanded the spread of fake news by increasing the speed and scope at which it can spread (Aïmeur et al., 2023). In Portugal, 71% of the population is concerned about distinguishing between real and fake information on the internet (Magallón-Rosa, 2024), a justified concern, as a study by the Iberifier Observatory reveals that over 80% of Portuguese media outlets have disseminated fake news sourced from social media (Público, 2023).

The rise in the use of false information spans across various contexts. Disinformation is defined by Chadwick & Vaccari (2019) as the intentional and purposeful spread of misleading information, while misinformation involves unintentional behaviors that inadvertently mislead. However, in broader discussions and literature, disinformation and misinformation are often used interchangeably as synonyms. This mix-up reflects a common practice in contemporary discourse where these terms are frequently used without strict differentiation. When modeling the spread of such information, it becomes important to note that it is often impossible to determine the intent behind its transmission, making it necessary to consider both disinformation and misinformation without assuming intent.

Fake information affects areas such as health, e.g. the safety of childhood vaccinations, and environmental problems, such as global warming. It also impacts consumer topics and diverse political and social debates (Tsfati et al., 2020). Given the significant challenges it poses to public discourse, political stability, and societal trust, addressing this issue requires a nuanced understanding of how various factors influence the dissemination of untrue information across online networks.

To approach this challenge, epidemiological models, initially developed for studying disease spread, have been adapted to analyze the spread of information on social networks (Maleki et al., 2021). A prime example of such adaptation is the SEIZ (Susceptible, Exposed, Infected, and Skeptic) model, which, unlike traditional models such as SIS (Susceptible, Infected, Susceptible) or SIR (Susceptible, Infected, Recovered), incorporates two additional compartments: Exposed and Skeptic. The Exposed compartment represents individuals who have encountered (mis/dis)information but have not yet decided to spread it, and the Skeptic compartment represents individuals who have heard the (mis/dis)information but choose not to engage with it. This model provides a more nuanced understanding of how untrue information propagates through a network (Mathur & Prakash Gupta, 2020).

Despite its potential, the application of the SEIZ model to (mis/dis)information spread remains underexplored. Previous studies have applied similar models to rumor propagation, but the specific dynamics of (mis/dis)information, especially in the context of social media, require further investigation. This research aims to fill this gap by examining the sensitivity of the SEIZ model's parameters and their influence on the spread of untrue information. Understanding these factors will aid in developing more effective strategies to counteract the dissemination of false information.

The remainder of this paper is organized as follow: in Section 2, related work on epidemiological modeling of information spread will be reviewed. Section 3 outlines the methodology used in this study. In Section 4, the results of the parameter sensitivity analysis and their implications are discussed. Finally, Section 5 concludes the paper with suggestions for future research directions.

2. Review of Literature

The propagation of (mis/dis)information on social media is a complex process shaped by diverse user interactions and behaviors. Understanding these dynamics is essential for developing effective strategies to mitigate its impact. By proposing a mathematical model to understand the propagation of false information within a population, it can give valuable insights into its spread, similar to the study of disease transmission (Jin et al., 2013).

Proposed by Bettencourt et al. (2006), the SEIZ model was created specifically to study the dynamics of idea spreading. It incorporates additional compartments beyond those found in simpler models that primarily address disease transmission, like SIS or SIR.

For instance, in disease models, Susceptible are those who can contract the illness, Infected are the ones who are actively ill, and Recovered are those who have overcome the illness and are no longer infectious. The Exposed and Skeptic compartments were a new introduction by the SEIZ model. Exposed individuals have encountered the information but are not yet actively spreading it, while Skeptics are aware of the information but are resistant to it and do not contribute to its spread (Mathur & Prakash Gupta, 2020). These additions reflect a new dimension in the context of ideas or information dissemination, where not everyone who encounters the information will actively propagate it or contribute to its wider circulation.

Thus, while traditional epidemiological models focus on the progression from exposure to infection and recovery, the SEIZ model provides a base for understanding how information, such as misinformation and disinformation, propagates and is managed by different groups, including those who may be aware but not engaged in spreading it further.

As it offers insights into the long-term adoption processes and can be applied to various contexts beyond its initial scope, it has been used to potentially aid in the analysis of real-time information dissemination on platforms like Twitter (Botelho et al., 2024; Jin et al., 2013; Maleki et al., 2021; Mathur & Prakash Gupta, 2020; Murayama et al., 2021; Mutlu et al., 2021).

Although the existing literature provides valuable insights into (mis/dis)information propagation, none of the studies have yet explored the sensitivity of the model to variations in parameters or identified which parameters have the most significant impact on the outcomes. This article aims to fill this gap, as such an analysis is crucial for making informed decisions and improving the ability to predict and manage the effects of untrue information effectively.

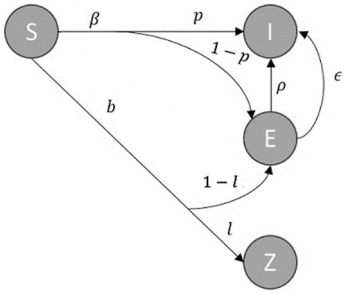
3. Methodology

This section introduces the methodology employed to conduct the study. It outlines how the SEIZ model operates and details the use of MATLAB software for implementing the model and analyzing its parameter sensitivity. This approach facilitates an in-depth exploration of the factors affecting the spread of false information on social networks.

3.1. SEIZ Model

The SEIZ model (see Figure 1) is a compartmental model that divides the population into four distinct categories:

- **Susceptible (S)**, individuals who have not yet encountered the (mis/dis)information but are at risk of exposure and may become infected in the future;
- **Exposed (E)**, individuals who have been exposed to the (mis/dis)information but require some time before they become infected;
- **Infected (I)**, individuals who have received the false information and are spreading it;
- **Skeptic (Z)**, individuals who have heard about the (mis/dis)information but have chosen not to engage with or react to it.



S: Susceptible
E: Exposed
I: Infected
Z: Skeptic
β: S-I Contact rate

ρ: E-I Contact rate
ε: E→I Incubation rate
b: S-Z Contact rate
p: S→I Probability given contact with I
l: S→Z Probability given contact with Z

Figure 1 – Diagram of the SEIZ model (adapted from Botelho et al. (2024).

Population transitions between these compartments occur at specific rates, defined by parameters that dictate how quickly individuals move from one category to another, as depicted in Table 1.

Table 1 – Parameter and related definitions of SEIZ model (Jin et al., 2013).

PARAMETER	DEFINITION	UNITS	PARAMETER	DEFINITION	UNITS
β	S-I Contact rate	Per unit time	p	S→I Probability given contact with I	-
b	S-Z Contact rate	Per unit time	$1 - p$	S→E Probability given contact with I	-
ρ	E-I Contact rate	Per unit time	$b\,l$	Effective rate of S to Z	Per unit time
ε	E→I Incubation rate	Per unit time	$\beta\,p$	Effective rate of S to I	Per unit time
l	S→Z Probability given contact with Z	-	$b\,(1 - l)$	Effective rate of S→E via contact with Z	Per unit time
$1 - l$	S→E Probability given contact with Z	-	$\beta\,(1 - p)$	Effective rate of S→E via contact with I	Per unit time

Consequently, it can also be mathematically modeled by the system of Ordinary Differential Equations (ODEs) given by Equation (1).

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta S\frac{I}{N} - bS\frac{Z}{N} \\ \frac{dE}{dt} = (1-p)\beta S\frac{I}{N} + (1-l)bS\frac{Z}{N} - \rho E\frac{I}{N} - \varepsilon E \\ \frac{dI}{dt} = p\beta S\frac{I}{N} + \rho E\frac{I}{N} + \varepsilon E \\ \frac{dZ}{dt} = lbS\frac{Z}{N} \end{cases} \quad (1)$$

This system of equations can be solved numerically along the time (t), if appropriate initial conditions (at t_0) are given: $S(t_0) = S_0$, $E(t_0) = E_0$, $I(t_0) = I_0$ and $Z(t_0) = Z_0$.

An underlying assumption of the model is that the total population N remains constant. This simplifies the analysis by focusing solely on the transitions between different states, without accounting for demographic changes that could complicate the dynamics. In the context of (mis/dis)information, where changes in population size, due to births, deaths, immigration or emigration, are negligible within the scope of the model's timeframe, this assumption is particularly practical.

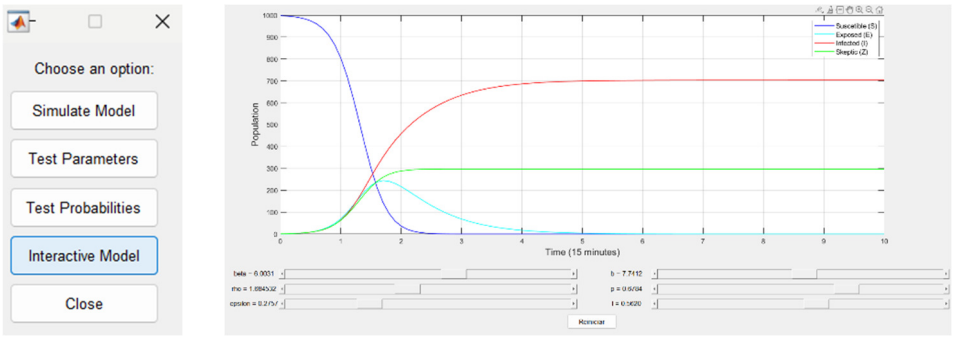
3.2. MATLAB

MATLAB (The MathWorks Inc., 2023) is a platform for modeling, analyzing, and designing systems and products. Its matrix-based language excels in expressing computational mathematics, and its built-in graphics aid in data visualization and insight. It features mathematical functions that offer various numerical computation methods for data analysis, algorithm development, and model creation. Additionally, core functions utilize processor-optimized libraries for rapid vector and matrix calculations.

The study primarily employed several key MATLAB functions to implement and analyze the SEIZ model, including *ode45*, *menu*, *plot*, *plot3*, and *contourf*.

The *ode45* function is a versatile tool in MATLAB for solving ODEs. It utilizes a variable-step, variable-order method based on the Dormand-Prince pair of formulas to achieve high accuracy and efficiency (Shampine & Reichelt, 1997). In this study, *ode45* was used to solve the system of ODEs that describes the SEIZ model, given by Equation (1). By providing initial conditions for the populations of Susceptible, Exposed, Infected, and Skeptics, *ode45* calculates the changes in these populations step-by-step (with a predefined error), offering insights into the evolution of (mis/dis)information dissemination.

The *menu* function was employed to develop interactive interfaces (see Figure 2), which allowed for a faster and more intuitive way to interact with the model and analyze its outcomes.



(a) **(b)**

Figure 2 – MATLAB implementation for: (a) an interactive menu designed for parameter exploration; and (b) an interactive graph used to visualize the results of the model.

Data visualization was achieved through the *plot* and *plot3* functions for two and three-dimensional graphs, respectively, and *contourf* for contour plots.

4. Results and Discussion

This chapter presents the findings derived from the application of the SEIZ model to the study of untrue information dynamics based on the problem and data presented in Maleki et al. (2021). It explores how variations in the model's parameters - such as contact rates (β, ρ, b), incubation rate (ε), and transition probabilities (p, l) - affect the dissemination and management of false information. The analysis focuses on understanding how these parameters interact within the model's compartments (populations): Susceptible, Exposed, Infected, and Skeptic.

Examining the ODEs in Equation (1), it shows that each population has inherent characteristics that remain consistent regardless of the parameter values. Specifically, the Susceptible individuals tend to decline over time, as indicated by the derivative not assuming positive values. In contrast, the Infected and Skeptic populations typically increase, as their derivatives do not take negative values. The number of Exposed cases, however, exhibits both positive and negative terms in its derivative, resulting in a unimodal curve with a single maximum.

The parameters, though, significantly affect the dynamics of these populations. They influence both the rate at which transitions between states occur and the magnitude of these transitions, thereby impacting the overall behavior and distribution of each population over time.

4.1. S-I Contact Rate (β) Analysis

To examine the impact of variations in β, the contact rate between S and I, the model was applied with incremental and decremental changes in β values, as illustrated in Figure 3. The parameters and time scale used in all the graphs in this work were adapted from Maleki et al. (2021), with initial conditions set to $S_0 = 998$, $E_0 = 0$, $I_0 = 1$, and $Z_0 = 1$.

It can be observed that changes in β do not have a significant impact on the Susceptible and Exposed populations. Still, higher contact rates between Susceptible and Infected individuals lead to a greater number of Infected cases and accelerate the spread of untrue information. During the initial stages of the scenario, when the number of Susceptible individuals is at its peak, the increase in Infected cases is more pronounced. However, this effect diminishes as the number of Susceptible individuals approaches zero.

It can also be noted that the Skeptic population tends to grow more rapidly and in greater numbers with lower β values. This occurs because fewer individuals are transitioning from Susceptible to Infected, which results in a larger influx of individuals moving into the Skeptic category. In any case, once this population reaches its peak, it stabilizes.

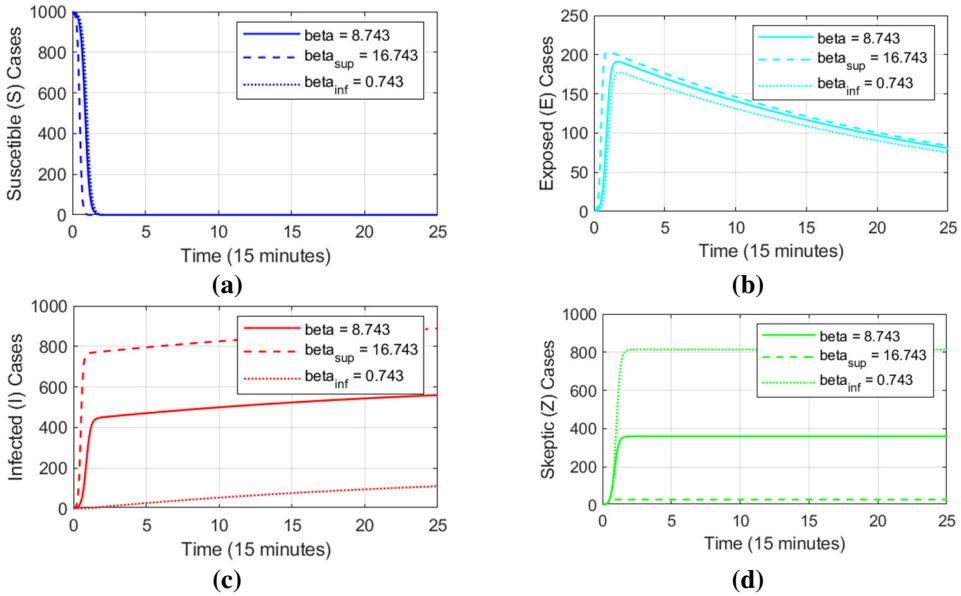


Figure 3 – Impact of variation in β on the different populations over time: (a) Susceptible; (b) Exposed; (c) Infected; and (d) Skeptic cases. Other parameters' values: ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

Although the Exposed group exhibits minimal change, some differences can be observed in its peak values (t = 2), which result from interactions with other parameters. When ρ or ε have lower values, the Exposed population increases with higher β. Conversely, when ρ or ϵ are higher, the Exposed population is greater if β as lower values.

This behavior can be explained by the roles of ρ and ε in influencing the transition from Exposed to Infected, as visualized in Figure 4. When ρ or ε are lower, fewer individuals transition from E to I, allowing the Exposed population to grow when β is high, as more individuals move from Susceptible to Exposed. On the other hand, when ρ or ε are larger, more individuals transition from E to I, reducing the Exposed population. In this scenario, a lower β means fewer individuals move from S to I, but the Exposed population can still grow due to continued transitions from S to E, driven by the contact rate b. With fewer Infected individuals, fewer transitions occur from E to I.

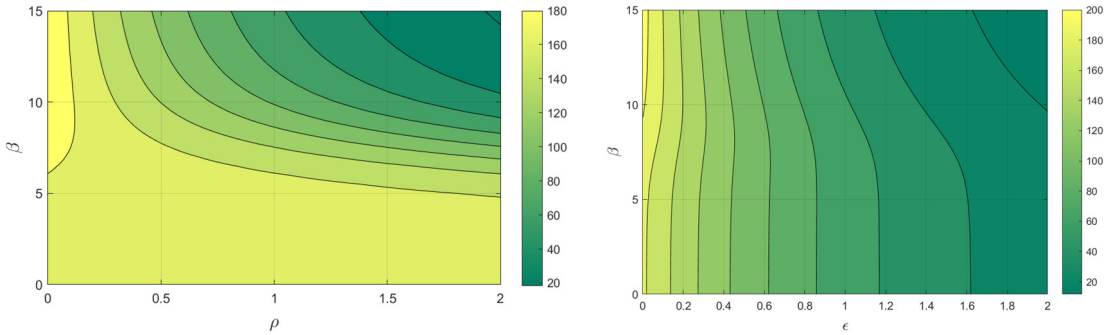


Figure 4 – Heatmaps of the Exposed population at t = 2 based on: (a) β and ρ combinations; and (b) β and ε combination. Other parameters' values: ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

4.2. E-I Contact Rate (ρ) Analysis

Variations in ρ have no impact on the Susceptible and Skeptic populations (see Figure 5).

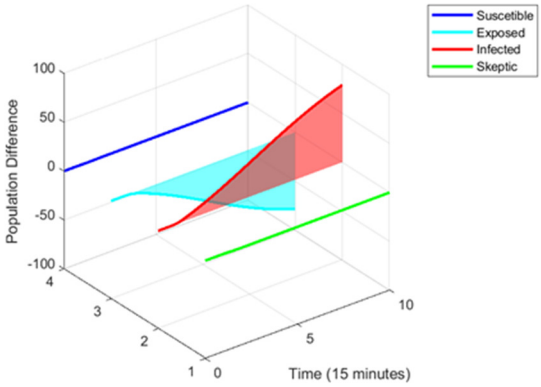


Figure 5 – Population differences over time due to a 1-unit increase in ρ. Other parameters' values: β = 4.3713, ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

As shown in Figure 6, while higher values of ρ influence the rate at which the Exposed population declines and the Infected population increases, both populations eventually stabilize at the same levels regardless of the ρ values.

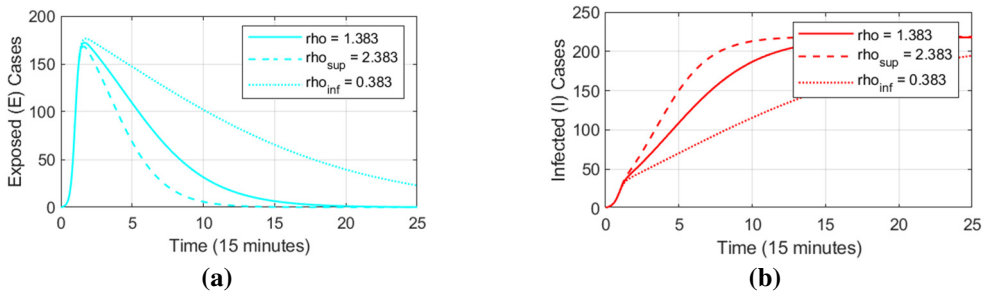


Figure 6 – Impact of variation in ρ on different populations over time: (a) Exposed; and (b) Infected cases. Other parameters' values: β = 4.3713, ε = 0.0373, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

4.3. S-Z Contact Rate (*b*) Analysis

Illustrated in Figure 7, variations in the parameter *b* have minimal impact on the Susceptible and Exposed populations, with a decrease in *b* causing only a slight delay in the peak time of the Exposed. However, the situation is different for the Infected and Skeptic populations. Specifically, a lower value of *b* results in fewer Susceptible individuals transitioning to the Skeptics group, which increases the proportion of cases transitioning to the Infected group while there are still Susceptible individuals.

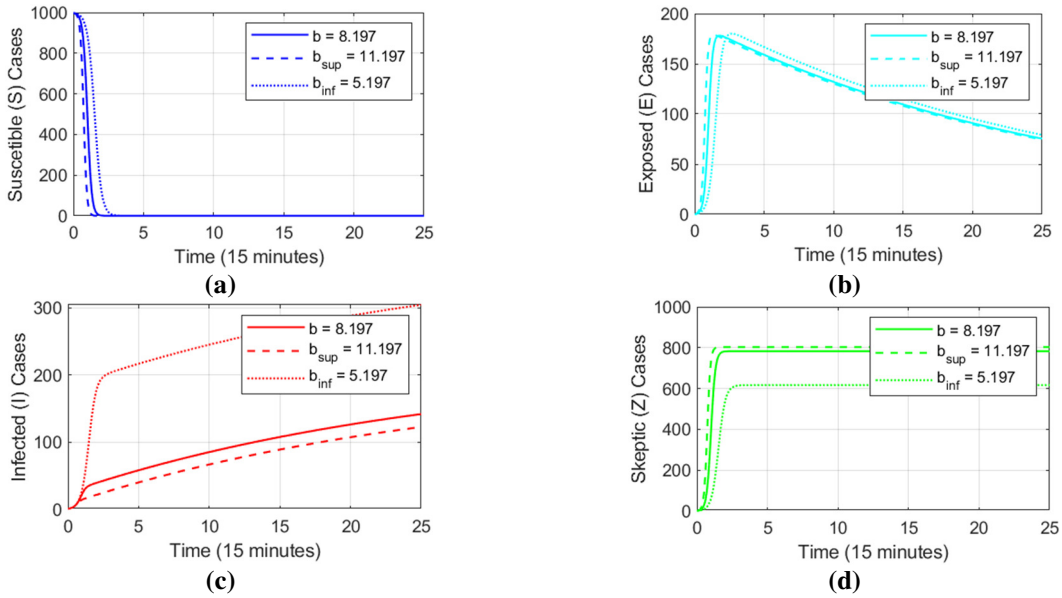


Figure 7 – Impact of variation in b on different populations over time: (a) Susceptible; (b) Exposed; (c) Infected; and (d) Skeptic cases. Other parameters' values: β = 4.3713, ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, p = 0.7905, l = 0.8161.

4.4. E-I Incubation Rate (ε) Analysis

Figure 8 shows that while there are minimal changes in the Susceptible and Skeptic populations, the Exposed and Infected populations are the most affected by alterations in ε. This parameter is directly related to the transition rate from Exposed to Infected. Consequently, an increase in ε leads to a rise in the number of Infected individuals and a corresponding decrease in the number of Exposed. By influencing the transitions from Exposed to Infected, changes in these populations can also cause variations in the Susceptible population, which fluctuates with the number of Infected, and in the Skeptic population, which varies with the number of Susceptibles, as shown in Equation (1).

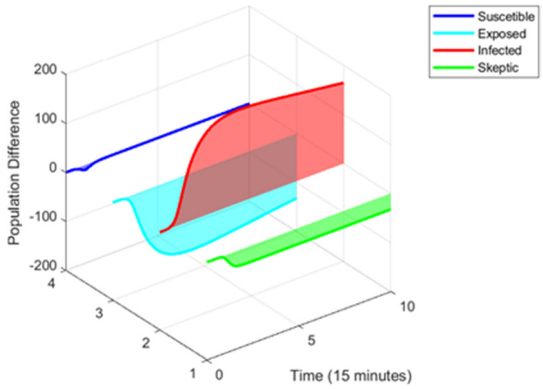


Figure 8 – Population differences over time due to a 1-unit increase in ε. Other parameters' values: β = 4.3713, ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

It can also be noted that a higher ε accelerates the rate at which these populations stabilize (see Figure 9). The decision to change the ε parameter to the reference value of 1.119, whereas the rest of the article uses 0.0373, was based on computational testing with various values. The selected value of 1.119 serves as an intermediate point; since 0.0373 is very close to zero and the transition rates must be positive, a higher value was chosen to effectively illustrate the dynamics at both lower and higher ε values.

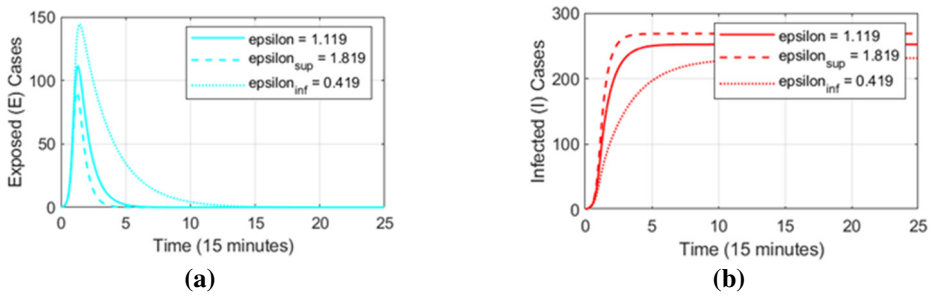


Figure 9 – Impact of variations in ε on different populations over time: (a) Exposed; and (b) Infected cases. Other parameters' values: β = 4.3713, ρ = 1.3833e-06, b = 8.1967, p = 0.7905, l = 0.8161.

4.5. S to I Probability Given Contact with I (p) Analysis

As p is the probability of Susceptible individuals transitioning to Infected given contact with Infected, its contribution to the model depends on the contact rate β between Susceptible and Infected individuals. Therefore, when β is lower, the variations in the Exposed, Infected, and Skeptic populations are minimal (see Figure 10a-c), while when β is greater, the variations in these populations are more significant (see Figure 10d-f).

In both scenarios, the Susceptible population shows no alteration, with higher values of p increasing the number of Infected and decreasing the number of Skeptics. This occurs because, as p rises, the increase in the number of Infected individuals leads to more frequent transitions from Susceptible to Infected, as confirmed by the derivative of S in Equation (1). Consequently, fewer individuals move to the Skeptic state, leading to a reduction in the Skeptic population.

In Figure 10d, it is noteworthy that the Exposed population is highest when p is 50%. This indicates that when the probability of Susceptible individuals transitioning to Exposed is higher than transitioning to Infected (i.e., $p <$ 50%), the number of Exposed individuals decreases and the number of Skeptic individuals increases, even when β is high.

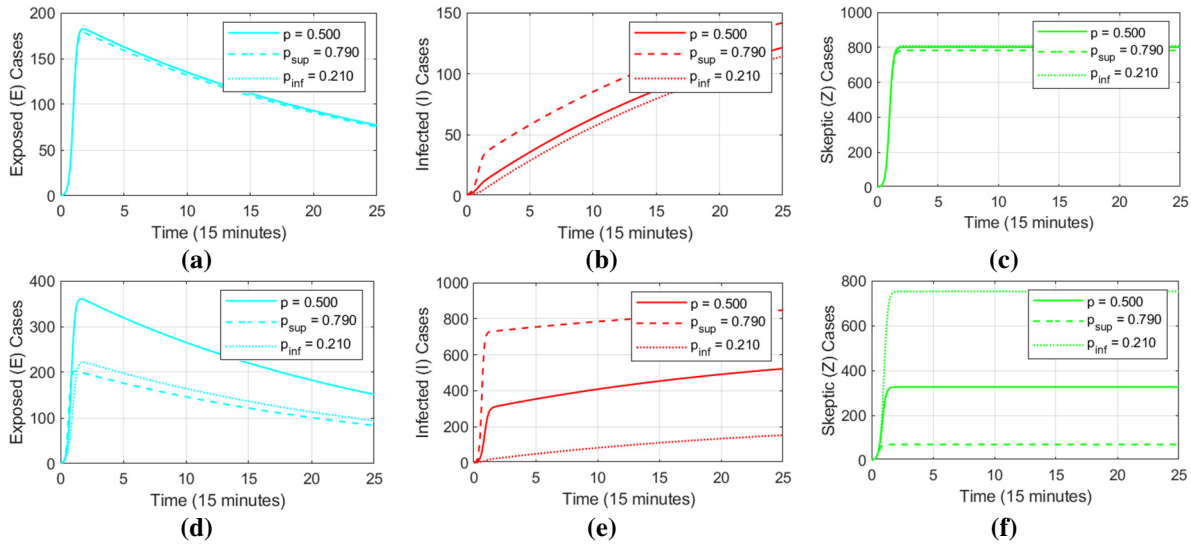


Figure 10 – Impact of variations in p on different populations over time, in two scenarios with different values of β: (a) Exposed, (b) Infected, and (c) Skeptic cases, when β = 4.3713; and (d) Exposed, (e) Infected, and (f) Skeptic cases, when β = 13.1139. Other parameters' values: ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, b = 8.1967, l = 0.8161.

4.6. S to Z Probability Given Contact with Z (*l*) Analysis

Similar to the previous case, the parameter l, which represents the probability of Susceptible individuals transitioning to Skeptics upon contact with Skeptics, affects the model based on the contact rate b between Susceptible and Skeptic individuals. Consequently, when b is lower, the populations' variations are minimal (see Figure 11a-c), whereas as b increases, there are more pronounced changes in the Exposed, Infected, and Skeptic populations (see Figure 11d-f).

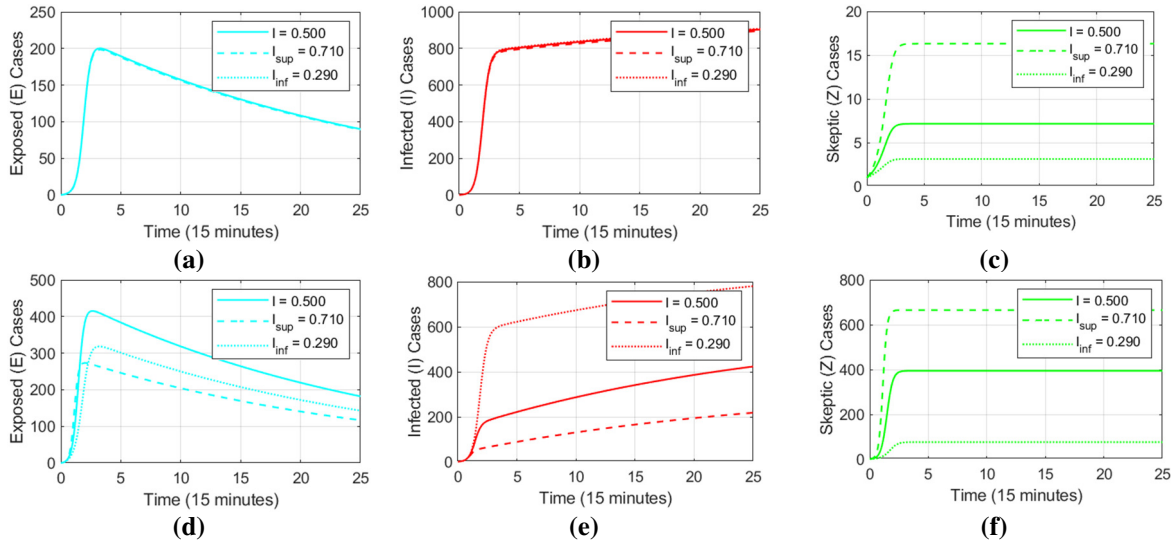


Figure 11 – Impact of variations in l on different populations over time, in two scenarios with different values of b: (a) Exposed, (b) Infected, and (c) Skeptic cases, when b = 2.0492; and (d) Exposed, (e) Infected, and (f) Skeptic cases, when b = 8.1967. Other parameters' values: β = 4.3713, ρ = 1.3833e-06, ε = 0.0373, p = 0.7905.

In both instances, the Susceptible population remains unchanged, and higher values of l lead to a decrease in the number of Infected individuals and an increase in the number of Skeptics.

Notably, in Figure 11d, the Exposed population peaks when l is 50%. This implies that if the probability of Susceptible individuals transitioning to Exposed is higher than transitioning to Skeptics (i.e., $l < 50\ \%$), the number of Exposed individuals decreases and the number of Infected individuals rises, even when b is high. This behavior may seem counterintuitive because a lower l should ideally lead to more Susceptible individuals transitioning to Exposed rather than Skeptic. However, as the decrease in l leads to more transitions from S to E, it also results in a higher rate of subsequent transitions from Exposed to Infected, which contributes to the rise in the number of Infected individuals and a reduction in the number of Exposed individuals.

5. Conclusions

In this paper, the influence of the SEIZ model parameters on the spread of (mis/dis)information was studied. It was found that some parameters affect specific compartments only, while others have a broader impact on the entire model.

Many of the findings aligned with expectations. For instance, a high contact rate between Susceptible and Infected individuals led to an increase in the number of infections, as anticipated. However, some results were noteworthy. Specifically, a high contact rate between Susceptible and Infected individuals, combined with a high probability of Susceptible individuals transitioning to Exposed, was found to increase the number of Skeptic individuals.
These findings underscore the complex interactions of parameters shaping (mis/dis)information dynamics on social networks. Understanding these dynamics is essential for devising more effective strategies to counteract the dissemination of false information.

However, this understanding was challenging to achieve. A significant difficulty encountered in this study was the intricate interplay between the parameters of the SEIZ model. Adjusting a single parameter often led to unexpected changes across multiple compartments of the model, resulting in complex and sometimes unpredictable outcomes. This sensitivity to parameter variations complicated efforts to isolate and comprehend the distinct impact of each parameter.

To address these challenges, future research should focus on refining analytical techniques and developing methods to better predict and manage untrue information. This includes enhancing the understanding of how each parameter affects the overall dynamics of the model, with the ultimate goal of improving the effectiveness of strategies designed to combat the spread of (mis/dis)information.

Acknowledgements

FCT has supported this work within the R&D Units Project Scope UIDB/00319/2020 (ALGORITMI).

References

Aïmeur, E., Amri, S., & Brassard, G. (2023). Fake news, disinformation and misinformation in social media: a review. Social Network Analysis and Mining, 13(1), 30. https://doi.org/10.1007/s13278-023-01028-5

Barni, M., Fang, Y., Liu, Y., Robinson, L., Sasahara, K., Vincent, S., Wang, X., & Wu, Z. (2022). Combating Misinformation/ Disinformation in Online Social Media: A Multidisciplinary View. APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 11. https://doi.org/10.1561/116.0000127

Bettencourt, L. M. A., Cintrón-Arias, A., Kaiser, D. I., & Castillo-Chávez, C. (2006). The power of a good idea: Quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 364, 513–536. https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.08.083

Botelho, D., Monteiro, M. T., & Teixeira, S. (2024). Numerical Study of Fake News Propagation. 19th Iberian Conference on Information Systems and Tecnhologies.

Chadwick, A., & Vaccari, C. (2019). News sharing on UK social media: misinformation, disinformation, and correction. Online Civic Culture Centre, Loughborough University.

Jin, F., Dougherty, E., Saraf, P., Cao, Y., & Ramakrishnan, N. (2013). Epidemiological modeling of news and rumors on Twitter. Proceedings of the 7th Workshop on Social Network Mining and Analysis, 1–9. https://doi.org/10.1145/2501025.2501027

Magallón-Rosa, R. (2024). Iberifier Report. Disinformation consumption patterns in Spain and Portugal. https://doi.org/10.15581/026.007

Maleki, M., Mead, E., Arani, M., & Agarwal, N. (2021). Using an Epidemiological Model to Study the Spread of Misinformation during the Black Lives Matter Movement. Social, Cultural, and Behavioral Modeling, 12720, 23–34. http://arxiv.org/abs/2103.12191

Mathur, A., & Prakash Gupta, C. (2020). Dynamic SEIZ in Online Social Networks: Epidemiological Modeling of Untrue Information. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(7), 577–585. www.ijacsa.thesai.org

Murayama, T., Wakamiya, S., Aramaki, E., & Kobayashi, R. (2021). Modeling the spread of fake news on Twitter. PLOS ONE, 16(4), e0250419. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250419

Mutlu, E. Ç., Rajabi, A., & Garibay, I. (2021). CD-SEIZ: Cognition-Driven SEIZ Compartmental Model for the Prediction of Information Cascades on Twitter. In Proceedings of the 2020 Conference of The Computational Social Science Society of the Americas (pp. 143–154). https://doi.org/10.1007/978-3-030-83418-0_9

Público. (2023, February 15). Mais de 80% dos media portugueses já difundiram notícias falsas baseadas nas redes sociais. Público. https://www.publico.pt/2023/02/15/sociedade/noticia/80-media-portugueses-ja-difundiu-noticias-falsas-baseadas-redes-sociais-2039014

Shampine, L. F., & Reichelt, M. W. (1997). The MATLAB ODE Suite. SIAM Journal on Scientific Computing, 18(1), 1–22. https://doi.org/10.1137/S1064827594276424

The MathWorks Inc. (2023). MATLAB (9.14.0.2489007 (R2023a)). https://www.mathworks.com/help/matlab/

Tsfati, Y., Boomgaarden, H. G., Strömbäck, J., Vliegenthart, R., Damstra, A., & Lindgren, E. (2020). Causes and consequences of mainstream media dissemination of fake news: literature review and synthesis. Annals of the International Communication Association, 44(2), 157–173. https://doi.org/10.1080/23808985.2020.1759443

ID26
Geoturismo: um estudo da motivação para uma nova forma de turismo sustentável

B.B.Silva ([1]), I.B.Silva ([1]), R.Sousa([1]), C. S. Rodrigues ([1]), S. Teixeira ([1])
a104680@alunos.uminho.pt, a104681@alunos.uminho.pt, rui.sousa@sabforma.pt, crodrigues@dps.uminho.pt, st@dps.uminho.pt

([1]) Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal

Resumo

O Geoturismo concentra-se nos elementos da paisagem e nos acidentes geográficos para criar experiências turísticas únicas. Este tipo de turismo destaca a geodiversidade, mas também promove a valorização e conservação dos elementos geológicos e geomorfológicos de um local, como formações rochosas, grutas, cascatas, vulcões e falésias, com relevância científica, educativa, cultural ou estética. O Geoturismo envolve ativamente a comunidade local, promovendo uma colaboração entre empresas, grupos cívicos e autoridades municipais para fornecer experiências autênticas e distintas aos visitantes. Além disso, pode proporcionar benefícios económicos e sociais, incluindo a criação de emprego, incentivando o empreendedorismo e fortalecendo a identidade cultural e comunitária.
Sendo o Geoturismo uma nova forma de turismo sustentável, pretende-se com este estudo explorar a motivação para este tipo de turismo em Portugal e identificar os elementos com maior potencial de interesse. Inserido num projeto mais alargado da Universidade do Minho de Iniciação na Investigação Científica, este artigo pretende apresentar os resultados de um questionário desenvolvido e aplicado com o objetivo de testar as hipóteses da motivação para o Geoturismo variar com a idade, o género e a escolaridade. Desta forma, os resultados obtidos visam proporcionar uma melhor compreensão das estratégias de promoção para este tipo de turismo, sendo que devem ser adaptadas considerando as faixas etárias específicas. Assim, foram considerados dois grupos de respondentes: um grupo com jovens estudantes universitários e um segundo grupo constituído por clientes de uma empresa de turismo sediada em Barcelos, LoureirosTour, representativos de faixas etárias mais elevadas e de escolaridade mais diversificada.

Palavras-Chave: Geoturismo, Motivação, Portugal, Turismo sustentável

1. Introdução

O Geoturismo é um segmento do turismo que se tem desenvolvido nos últimos anos por todo o mundo. Na realidade, já há muito tempo que as pessoas se deslocam para visitar "maravilhas geológicas", como grutas, cascatas e falésias. No entanto, só nos últimos tempos é que se verifica uma real aposta neste setor, tendo vindo a desenvolver-se um mercado próprio (Carvalho et al., 2009).

O Geoturismo é uma forma de turismo em que os elementos da paisagem e, sobretudo, os acidentes geográficos criam uma experiência turística única, atraindo visitantes com interesses diversos, abrangendo desde a apreciação estética, a investigação científica e a educação ambiental. O objetivo central do Geoturismo é destacar a geodiversidade de uma região, promovendo simultaneamente a valorização e a conservação dos elementos geológicos e geomorfológicos. A geodiversidade refere-se à variedade de elementos geológicos como formações rochosas, minerais e fósseis e, também, a elementos geomorfológicos como grutas, cascatas, vulcões e falésias, presentes num dado local (Reynard and Coratza, 2007). Estes elementos não apenas possuem um valor intrínseco, mas também uma relevância científica, educativa, cultural e estética (Jorge and Guerra, 2016). A promoção do Geoturismo visa sensibilizar os visitantes sobre a importância dos recursos naturais, incentivando a práticas de conservação que assegurem a sua preservação (Dowling, 2013).

Um aspeto caracterizador do Geoturismo está relacionado com o envolvimento ativo da comunidade local, pois promove uma colaboração entre empresas locais, grupos cívicos e autoridades municipais, levando à criação de experiências autênticas, que valorizam não apenas os recursos geológicos, mas também a cultura e as tradições locais. O Geoturismo pode, então, gerar inúmeros benefícios económicos e sociais para as comunidades locais. A exemplo disso, é a criação de empregos diretos e indiretos, que é um dos impactos mais imediatos e visíveis, mas, também, destaca-se o desenvolvimento de infraestruturas turísticas, como alojamentos, restaurantes, entre outros que requerem mão de obra local, promovendo, desta forma, o emprego e melhorando as condições de vida da

população residente (Newsome and Dowling, 2010). Além do que foi mencionado anteriormente, o Geoturismo incentiva o empreendedorismo local. Pequenos negócios, como guias turísticos, lojas de artesanato e empresas de transporte, encontram no Geoturismo uma oportunidade de crescimento e sustentabilidade (Hose, 2012). Este ambiente favorável ao empreendedorismo pode, a longo prazo, levar ao desenvolvimento de uma economia local mais robusta e diversificada. Outro benefício significativo é o fortalecimento da identidade cultural e comunitária. Ao valorizar os recursos geológicos e geomorfológicos locais, o Geoturismo incentiva a população a redescobrir e valorizar o seu património natural e cultural (Farsani et al., 2011).

Apesar dos inúmeros benefícios, o desenvolvimento do Geoturismo enfrenta desafios que necessitam de ser cuidadosamente geridos. Se não forem implementadas práticas de gestão sustentável, a pressão turística pode levar à degradação dos recursos naturais. A capacitação das comunidades locais e a educação dos visitantes sobre práticas de turismo responsável são essenciais para minimizar os impactos negativos. Além disso, é fundamental que o desenvolvimento do Geoturismo seja acompanhado por políticas públicas que promovam a sustentabilidade e a inclusão social. O envolvimento das autoridades municipais e regionais é crucial para assegurar que os benefícios do Geoturismo sejam equitativamente distribuídos e que as práticas de conservação sejam rigorosamente implementadas (Newsome et al., 2012).

O objetivo do estudo é, então, entender quais são as motivações das pessoas, quais os segmentos da população que demonstram maior interesse e quais os tipos de atividade locais de Geoturismo que são mais atraentes para estes. Em colaboração com a empresa Sabforma e a camara de Vila Verde, pretende-se realizar um inventário detalhado e criar um portfólio digital das formas de Geoturismo existentes em Portugal, nomeadamente na região Norte. Os principais objetivos incluem a identificação e documentação dos principais sítios geológicos e geomorfológicos, destacando a sua importância e o seu potencial turístico e o desenvolvimento de uma plataforma digital que apresente de forma interativa e informativa os locais de interesse geoturístico, facilitando o acesso à informação para turistas e operadores de turismo.

Posto isto, e no sentido de aprofundar o conhecimento sobre o tema, foi elaborado um questionário direcionado à comunidade local, especificamente aos residentes do distrito de Braga. Este questionário tem como objetivo principal compreender a recetividade da comunidade em relação ao Geoturismo, bem como identificar quais locais geoturísticos são considerados prioritários para a sua preservação e valorização. Assim, através desta pesquisa, busca-se obter uma visão clara sobre o interesse e o envolvimento da população com o Geoturismo, permitindo assim direcionar esforços para a conservação e promoção dos patrimónios naturais da região.

2. Revisão Bibliográfica

Ao longo dos anos, a definição de Geoturismo tem sido expandida, refletindo uma compreensão cada vez mais ampla. Inicialmente, o Geoturismo foi visto, principalmente, como uma forma de turismo de orientação geológica ou geográfica. Hose foi um dos primeiros a destacar o potencial do Geoturismo para a promoção da geoconservação e para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais. Além disto, o mesmo dá importância à geodiversidade e à conservação ambiental (Hose, 1995).

Anos mais tarde, (Dowling and Newsome, 2006) defendem que o Geoturismo é uma forma de nicho de turismo de área natural baseada na geologia e na paisagem. Para além disto, ampliaram o conceito ao adicionar aspetos económicos e sociais, onde o Geoturismo não apenas valoriza os recursos geológicos, mas, também, contribui para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais, sublinhando a importância de práticas de turismo responsável. Quatro anos depois, em 2010, os mesmos adicionaram à definição o facto de que o Geoturismo pode ser realizado através de visitas independentes ou de visitas guiadas. Acrescentaram, também, que ao contrário do ecoturismo, que se restringe a áreas naturais, o Geoturismo pode ocorrer em áreas urbanas além de áreas naturais, ou seja, em qualquer lugar onde as características geológicas possam ser consideradas atrações turísticas. Esta definição abrangeu, igualmente, aspetos mais amplos da atividade turística, na medida em que a visitação dos destinos geoturísticos, requer transporte, acesso, alojamento e serviços, planeamento e gestão (Dowling and Newsome, 2010).

Mais recentemente, a definição de Geoturismo tem incorporado elementos tecnológicos e inovadores. De acordo com Wever et al. (2016) a inclusão de tecnologias digitais tem transformado a maneira como os turistas interagem com os sítios geológicos, proporcionando experiências mais ricas e educativas. Desta forma, as tecnologias oferecem informações detalhadas e interativas sobre os pontos de interesse geológico, além de educar os visitantes sobre os processos geológicos que moldaram as paisagens, promovendo uma maior conscientização e apreço pela geoconservação. A exemplo disso, destacam-se as Tours Virtuais em Geoparques, onde muitos destes locais permitem aos visitantes explorar as suas características geológicas de forma online. Isto não só aumenta a acessibilidade, como também, ajuda a preservar os sítios, ao reduzir o impacto do turismo físico.

A juntar às Tours Virtuais, anteriormente mencionadas, tem-se os Programas Educativos, como o "Geotourist", que fornecem guias de áudio e informações detalhadas sobre locais geológicos ao redor do mundo. Desta forma, os visitantes podem usar essa ferramenta para obter uma compreensão mais profunda dos sítios que estão a visitar. A realidade virtual (RV) também desempenha um papel crucial, permitindo que as pessoas explorem ambientes geológicos distantes ou inacessíveis, através de simulações imersivas, que podem recriar paisagens pré-históricas ou visualizar eventos geológicos passados. Essas inovações tecnológicas não só melhoram a experiência do visitante, mas também têm o potencial de reduzir o impacto ambiental do turismo, ao diminuir a necessidade de intervenções físicas nos sítios geológicos. Assim, a integração de tecnologias digitais no Geoturismo representa uma evolução significativa na forma como este é praticado, ampliando os seus benefícios, tanto para os turistas como para os ambientes naturais que eles visitam (Carrión-Mero et al., 2024).

3. Metodologias e Métodos

Como já foi mencionado, este estudo tem por base a investigação da aposta em Geoturismo, que é uma nova abordagem de turismo. Assim, o objetivo deste estudo é o de explorar as diferentes motivações por trás dos turistas que procuram envolver-se numa experiência de Geoturismo e investigar quais grupos de pessoas, ou seja, quais gerações, se interessam mais por este tipo de atividades. Compreender estas motivações é fundamental para se desenvolver estratégias de marketing e atendimento mais eficazes, que possam atrair e satisfazer todos os turistas. Além disso, é essencial determinar quais cuidados devem ser tomados para receber os diferentes turistas, garantindo que as suas expectativas sejam atendidas. Desta forma, o estudo não só contribuirá para o aprimoramento da oferta turística da empresa, como também, promoverá um turismo mais consciente e responsável.

No sentido de se obter informações, a recolha de dados foi feita através da elaboração de um questionário em dois formatos, isto é, em papel, para aqueles que assim o preferiam, e em formato digital, recorrendo-se ao GoogleForms. O questionário utilizado no estudo, foi dividido em três seções principais: a caracterização dos respondentes, o envolvimento com o tema e a motivação para atividades associadas ao Geoturismo. Optou-se pela escolha da escala de Likert com cinco opções para as questões realizadas.

Relativamente à caracterização da amostra, é importante destacar que esta se trata de uma amostra de conveniência. Este tipo de amostra foi escolhido devido à facilidade de acesso aos elementos selecionados, que são, maioritariamente, clientes da empresa e residentes da cidade de Barcelos e arredores. A opção por uma amostra deste tipo foi motivada pela necessidade de obter dados de maneira rápida, considerando as limitações de tempo e recursos disponíveis para a realização do estudo. Antes da implementação do questionário, foi feito um pré-teste, com quatro participantes, que permitiu identificar pequenas correções de linguagem.

3.1 Caracterização dos respondentes

Dos 126 respondentes inquiridos, verificou-se uma grande variedade nas idades e dessa forma foi pertinente agrupá-las em gerações. Assim, dividiu-se as idades em 5 gerações, sendo elas: Baby Boomers: nascidos entre 1946 e 1964; Geração X: nascidos entre 1965 e 1980; Millennials ou Geração Y: nascidos entre 1981 e 1995; Geração Z: nascidos entre 1996 e 2010; Geração Alpha: nascidos a partir de 2010 (Drugas, 2022).

A porção de pessoas do sexo feminino é de 68,9 %, o que corresponde a 86 mulheres, a do sexo masculino é 31,1%, totalizando 40 homens e nenhuma pessoa se identificou como sendo do género outro. O estudo avaliou a distribuição etária dos respondentes, segmentada por diferentes gerações, revelando uma diversidade entre os participantes. Desta forma, foram contabilizados 9 respondentes pertencentes à geração Baby Boomers, com mais de 60 anos, representando aproximadamente 7,1% do total de participantes. A Geração X, dos 44 aos 59 anos, foi representada por 38 respondentes, correspondendo a 30,2% do total. Os Millennials ou Geração Y (28 a 43 anos) contaram com 21 respondentes, representando 16,7% dos participantes. A Geração Z (14 a 27 anos) foi o grupo mais numeroso, com 55 respondentes, equivalendo a 43,6% do total. Por fim, a Geração Alpha, menos de 13 anos, teve 3 respondentes, representando 2,4% do total. Assim, estes dados evidenciam uma maior participação da Geração Z, seguida pela Geração X.

O estudo analisou a distribuição ocupacional dos respondentes, proporcionando uma compreensão do perfil socioeconómico da amostra. A categoria de Empregado foi a mais representativa, com 64 respondentes, correspondendo a 50,8% do total. A categoria de Estudante foi a segunda maior, totalizando 60 respondentes, o que equivale a 47,6%. Foram identificados 4 Desempregados, representando 3,2% da amostra, 6 respondentes Reformados ou Aposentados, correspondendo a 4,7% e não houve respondentes na categoria de Domésticos.

Além da análise etária e ocupacional, o estudo examinou o nível de educação dos respondentes, fornecendo um panorama sobre o grau de instrução da amostra. Entre os 126 participantes, 33 possuem o ensino básico completo (9º ano) ou menos, representando 26,2% do total, 35 respondentes concluiu o ensino secundário (12ºano), o que equivale a 27,8% do total dos participantes e os restantes, isto é, 58 respondentes, possui licenciatura ou um grau superior, representando 46%.

Tabela 1-Tabela de frequências do perfil dos participantes.

PARÂMETROS	VALORES	FREQUÊNCIA	PERCENTAGEM (%)
GERAÇÃO	Baby Boomers	9	7,1
	Geração X	38	30,2
	Millennials ou Geração Y	21	16,7
	Geração Z	55	43,6
	Geração Alpha	3	2,4
GÉNERO	Masculino	40	31,1
	Feminino	86	68,9
OCUPAÇÃO	Estudante	60	47,6
	Empregado	64	50,8
	Desempregado	4	3,2
	Reformado ou aposentado	6	4,7
NÍVEL DE EDUCAÇÃO	Ensino básico completo (9º ano) ou menos	33	26,2
	Secundário Completo (12º ano)	35	27,8
	Licenciatura ou mais	58	46

4. Resultados e Discussão

Quanto à análise dos parâmetros relativos à segunda secção do questionário, que se concentra no Envolvimento com o tema Geoturismo, foram realizadas 3 perguntas.

A primeira, que está relacionada com o nível de familiaridade com o tema Geoturismo, verificou-se que 17 respondentes indicaram que nunca ouviram falar sobre o tema, correspondendo a uma percentagem de 13,5% do total dos respondentes, 39 indicaram que já ouviram falar do tema, mas nunca fizeram atividades associadas ao Geoturismo, equivalendo a 31% dos participantes e os restantes 70 revelaram que já ouviram falar e já fizeram atividades associadas ao Geoturismo representando 55,6%.

Relativamente à segunda questão desta secção, isto é, "Nos últimos 2 anos, quantas vezes participou em atividades associadas ao Geoturismo?", obteve-se a seguinte divisão: 48 respondentes (38,1%) revelaram não ter participado em nenhuma atividade; 37 dos inquiridos, ou seja, 29,4% disseram que poucas vezes o fizeram (apenas 1 ou 2 vezes); à opção "Algumas vezes (de 3 a 5)", obtiveram-se 30 respostas, o que equivale a 23,8% e, por fim, à opção "Frequentemente (mais de 5 vezes)", responderam 11 pessoas, correspondendo a 8,7% do total dos respondentes.

No sentido de se perceber quais os locais do Geoturismo que despertam mais interesse na amostra, disponibilizou-se uma panóplia de exemplos desses mesmos locais (Figura 1) no qual cada respondente poderia selecionar no máximo 3 opções. Assim, o local preferido pelos respondentes foram os Passadiços ou trilhos com uma frequência absoluta de 86 e relativa de 68,3%, seguido das Cascatas que alcançaram 75 respostas, equivalente a 59,5% e, por fim, o último do pódio dá lugar às Lagoas, dos quais 68 pessoas (54%) manifestaram interesse. Além disto, no sentido de se descobrir novos locais de Geoturismo foi adicionada a opção "Outros", no qual 2 respondentes a selecionaram. Assim, foi adicionada uma outra pergunta para aqueles que selecionassem essa opção especificassem novos destinos de Geoturismo, no qual as respostas foram "Parques geotérmicos" e "Fumarolas, outras formações associadas ao vulcanismo".

Posto isto, esta questão reveste-se de grande importância para compreender quais locais de Geoturismo merecem investimentos prioritários, como na sua preservação, valorização, facilidade de acesso, entre outros aspetos. O objetivo é o de aumentar a atratividade destes locais e, consequentemente, maximizar o número de turistas interessados em atividades de Geoturismo. Esta compreensão é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de promoção e aprimoramento dos destinos turísticos com potencial geoturístico.

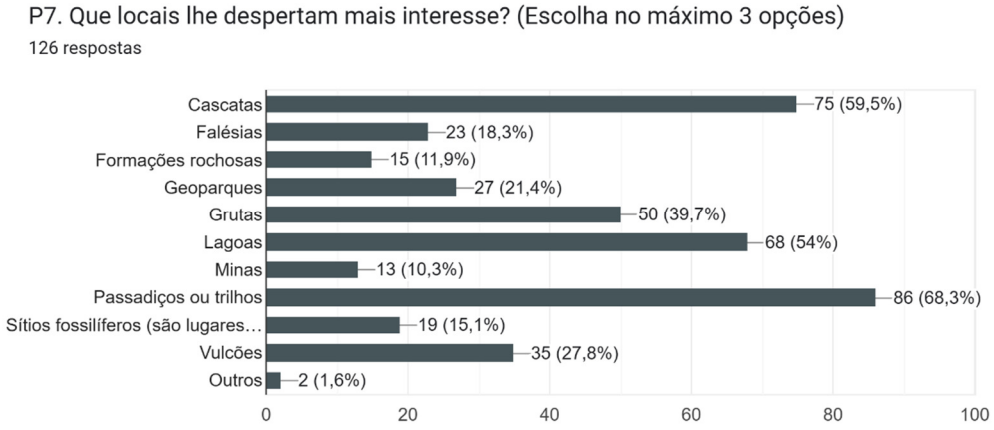


Figura 1- Resultados das preferências dos respondentes relativos aos locais geoturísticos.

Quanto à terceira e última seção do questionário, que trata da Motivação para as atividades associadas ao Geoturismo, ela está dividida em três partes: motivações, características importantes e afirmações. Na primeira parte, que teve por base as motivações do artigo (Allan et al., 2015), obtiveram-se a média e o desvio-padrão das 18 motivações apresentadas na Tabela 2.

A média variou entre a menor pontuação de 3,19, obtido para P804, o que revela que os respondentes não pretendem conhecer pessoas com valores ou interesses semelhantes quando realizam este tipo de turismo e a maior pontuação média é de 4,37, obtido para P818, mostrando que os respondentes fazem este tipo de atividades para explorar novos lugares.

Tabela 2-Motivação para Geoturismo.

QUANDO REALIZO ATIVIDADES ASSOCIADAS AO GEOTURISMO, FAÇO-O PARA…	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
P801…relaxar mentalmente	4,08	0,909
P802… aliviar o stress diário	3,94	0,998
P803…fortalecer o relacionamento com familiares e amigos	3,75	1,071
P804…conhecer pessoas com valores ou interesses semelhantes	3,19	1,257
P805…partilhar conhecimento com outras pessoas	3,34	1,214
P806…aprender sobre coisas, lugares ou culturas novas	4,20	0,858
P807…desenvolver conhecimento sobre geologia e geossítios (locais de interesse geológico)	3,39	1,180
P808…desenvolver conhecimento sobre a biodiversidade	3,61	1,058
P809…fugir da rotina do dia a dia	4,14	0,927
P810…visitar formas de relevo espetaculares	3,94	0,970
P811…participar em atividades baseadas na natureza	4,13	1,004
P812…participar em atividades culturais	3,69	1,069
P813…participar em atividades desportivas	3,49	1,192
P814…é emocionante	3,78	1,042
P815…me divertir	4,12	0,935
P816…sentir adrenalina	3,61	1,159
P817…são lugares exóticos	3,65	0,932
P818…explorar novos lugares	4,37	0,892

Com o intuito de se avaliar as motivações médias, anteriormente representadas, para as várias gerações, criou-se um gráfico de linhas, no qual, é visível as diferenças das opiniões por grupos de idade. No eixo das abcissas estão representadas as 18 motivações do questionário, enquanto no eixo das ordenadas, que vai de 1 a 5, é representada a média.

Numa primeira impressão, é possível visualizar, na Figura 2, que as quatro gerações mais velhas estão praticamente semelhantes, não sendo percetível a existência de grandes diferenças. No entanto, a geração Alpha, representada com a linha roxa, é a geração que mais se destaca a nível de opiniões contrárias, isto é, as diferenças são mais visíveis. Assim, percebe-se que a geração mais nova, quando realiza atividades associadas ao Geoturismo, é a que mais discorda das seguintes motivações: "relaxar mentalmente", "aliviar o stress diário", "fortalecer o relacionamento com familiares e amigos", "conhecer pessoas com valores ou interesses semelhantes", "partilhar conhecimento com outras pessoas", "aprender sobre coisas, lugares ou culturas novas", "desenvolver conhecimento sobre geologia e geossítios (locais de interesse geológico)", "visitar formas de relevo espetaculares"

e "participar em atividades culturais". Por outro lado, esta é a geração que mais concorda para as seguintes motivações: "fugir da rotina do dia a dia", "participar em atividades baseadas na natureza", "participar em atividades desportivas", "me divertir", "sentir adrenalina" e "explorar novos lugares".

Com a análise destes dados é possível delinear o perfil de um geoturista de idade inferior a 14 anos e tirar algumas conclusões sobre as suas preferências e motivações. É possível concluir que este tipo de turista tem necessidade de realizar experiências novas e diferentes, mostrando desejo por atividades que envolvem adrenalina, diversão e emoção. Além disso, há uma clara preferência por atividades que combinam o contacto com a natureza e a prática de desporto, o que pode incluir desde caminhadas até desportos radicais. Por fim, o desejo de explorar novos lugares está presente, indicando uma curiosidade geográfica e um gosto por viagens que ofereçam novas paisagens e desafios.

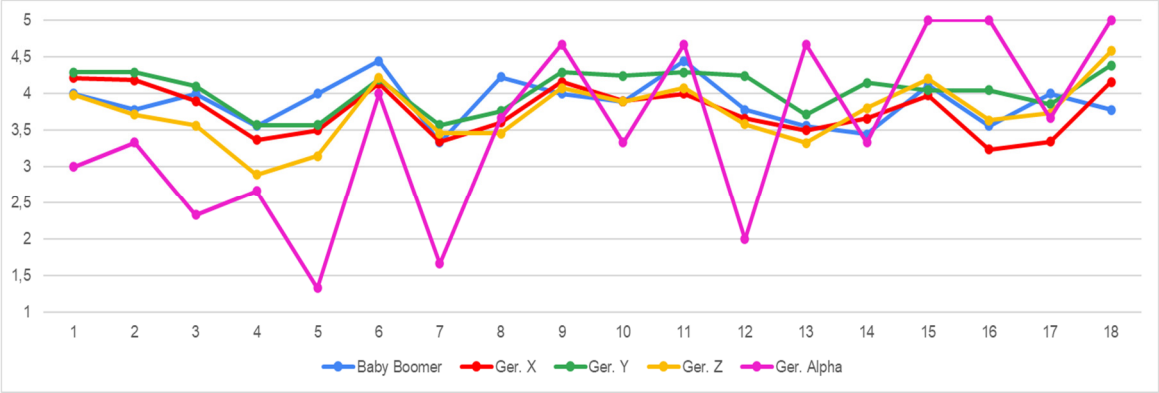


Figura 2-Motivação média por geração.

Na segunda parte da terceira secção do questionário, foram calculadas as médias e os desvios-padrão das características importantes na escolha de um destino, conforme apresentado na Tabela 3. A análise revela que a média variou de 3,52 para P906, indicando que a reputação e a divulgação associadas ao local são as características menos importantes. A maior pontuação, 4,48 para P901, destaca a beleza natural do geossítio como a característica mais relevante.

Tabela 3-Características na escolha de um destino de Geoturismo.

AS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES NA ESCOLHA DE UM DESTINO ASSOCIADO AO GEOTURISMO SÃO…	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
P901… a beleza natural	4,48	0,767
P902… o significado científico do local geológico	3,63	1,164
P903… a facilidade de acesso (trilhos bem definidos, estacionamento adequado)	4,02	0,899
P904… a existência de infraestruturas turísticas e de apoio (sinalização, mapas e guias, painéis informativos, mirantes e pontos de observação, exposições, wc, zona de piqueniques…)	4,08	0,935
P905… a existência de outras atividades disponíveis (trilhos, escalada, desportos radicais, experiências gastronómicas…)	3,86	1,071
P906… a reputação/divulgação associada ao local	3,52	1,108
P907… a diversidade geológica e paisagística	3,89	1,067
P908… a preservação e conservação do meio ambiente	4,17	0,961

Com a mesma linha de pensamento, a geração Alpha, volta a destacar-se das restantes gerações. Pela análise da Figura 3, esta geração é a que menos importância dá para todas as características na escolha de um destino de Geoturismo, exceto para a característica "a existência de outras atividades disponíveis (trilhos, escalada, desportos radicais, experiências gastronómicas…)", que, na verdade, é a que mais concorda, relativamente às outras. Mais uma vez, está saliente que o grupo mais jovem dá preferência às atividades que estão disponíveis, como escalada e desportos radicais.

Quanto à geração mais velha, a geração Baby Boomer representada com a linha azul, está é a que mais importância mostra para os seguintes aspetos: "a facilidade de acesso (trilhos bem definidos, estacionamento adequado)", "a existência de infraestruturas turísticas e de apoio (sinalização, mapas e guias, painéis informativos, mirantes e pontos de observação, exposições, wc, zona de piqueniques…)", "a diversidade geológica e paisagística" e "a preservação e conservação do meio ambiente".

De acordo com as características importantes para a geração Baby Boomer, os empresários ligados a este ramo devem investir em trilhos bem definidos, estacionamentos adequados, e infraestruturas de apoio como sinalização, mapas, guias, mirantes, WC, e zonas de piqueniques para atrair este tipo de geoturista, que valoriza o conforto, informação e facilidades durante a sua visita. Importa ainda realçar que os destinos devem oferecer uma grande variedade geológica e paisagística e devem demonstrar um compromisso claro com a preservação e conservação do meio ambiente para atrair este público consciente e ambientalmente responsável.

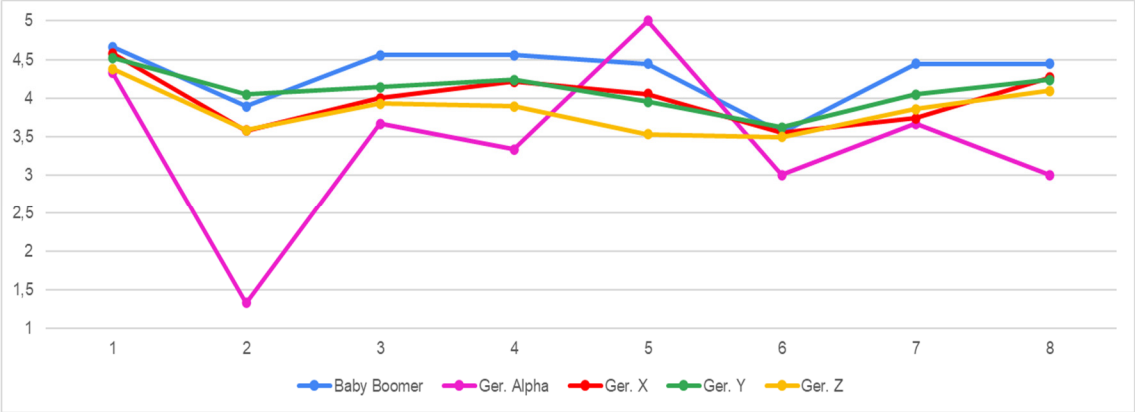


Figura 3- Características importantes média por geração.

Por fim na última parte do questionário, onde são apresentadas quatro afirmações sobre Geoturismo, também foram calculadas as médias e os desvios-padrão. Na seguinte tabela, Tabela 4, percebe-se que ambos os valores para as quatro frases, são praticamente semelhantes, indicando que os respondentes poderão ter a mesma opinião. Assim, a média variou de 4,21 para P1004 e 4,51 para P1002. Desses valores é possível concluir que alguns respondentes não consideram que a oportunidade de interagir com as comunidades locais (por exemplo, participar de eventos culturais, comprar produtos locais) seja uma parte importante da experiência de Geoturismo. Por outro lado, acreditam que a promoção do Geoturismo em áreas rurais ou menos desenvolvidas pode ajudar a diversificar a economia local.

Tabela 4: Concordância com afirmações sobre o Geoturismo.

AFIRMAÇÕES	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
P1001. O Geoturismo pode beneficiar economicamente as comunidades locais.	4,44	0,664
P1002. A promoção do Geoturismo em áreas rurais ou menos desenvolvidas pode ajudar a diversificar a economia local.	4,51	0,690
P1003. A participação em atividades de Geoturismo pode aumentar a consciencialização sobre questões ambientais e de conservação.	4,38	0,725
P1004. A oportunidade de interagir com as comunidades locais (por exemplo, participar de eventos culturais, comprar produtos locais) é uma parte importante da experiência de Geoturismo.	4,21	0,806

Por fim, foram realizadas quatro afirmações relacionadas ao Geoturismo, no qual cada respondente assinalou o seu grau de concordância. Com base na Figura 4, é percetível que, de um modo geral, as 4 gerações mais antigas têm concordâncias relativamente próximas para as quatros afirmações, não existindo diferenças significativas visíveis. Apenas a geração Alpha, para a afirmação 3, destacou-se pela negativa, o que significa que esta geração é a que menos concorda com "A participação em atividades de Geoturismo pode aumentar a consciencialização sobre questões ambientais e de conservação." Isto vai de encontro com o gráfico anterior, onde mostra que na P908, os nascidos a partir de 2010 revelaram não dar tanta importância à preservação e conservação do meio ambiente, quando realizam atividades de Geoturismo.

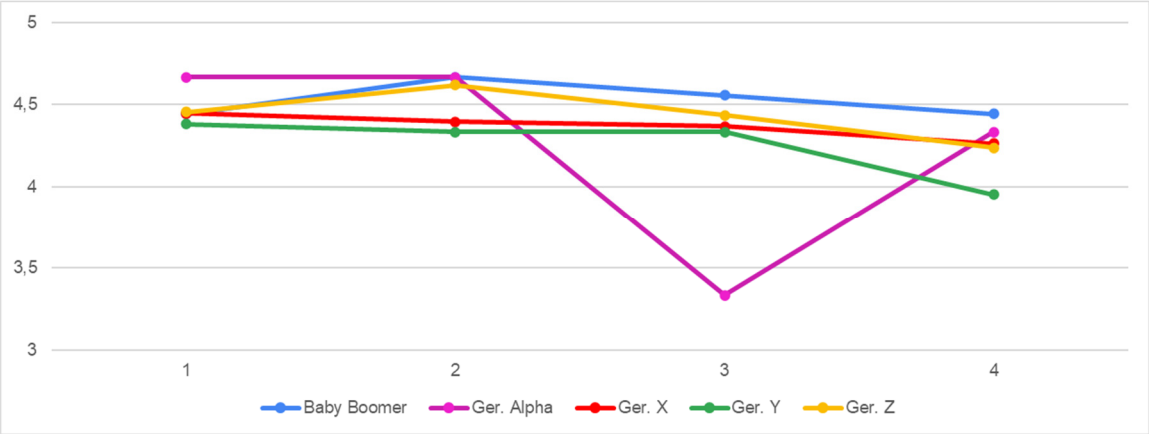


Figura 4-Nível de concordância por geração.

4. Conclusão

O Geoturismo representa uma abordagem inovadora e sustentável para o desenvolvimento turístico, valorizando a geodiversidade e promovendo a conservação dos recursos geológicos e geomorfológicos. Assim, o envolvimento ativo da comunidade local e a promoção do empreendedorismo são componentes chave para o sucesso desta modalidade de turismo. Ao proporcionar benefícios económicos e sociais significativos, o Geoturismo fortalece a identidade cultural e comunitária, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das regiões onde é implementado. Contudo, a gestão cuidadosa e a implementação de práticas sustentáveis são essenciais para assegurar que os recursos naturais sejam preservados e que os benefícios do Geoturismo sejam duradouros e equitativamente distribuídos (T. A. Hose, 2012).

Em síntese, a análise das respostas de 126 participantes revelou padrões significativos nas preferências de diferentes gerações em relação ao turismo. A geração Alpha, demonstrou uma inclinação por experiências aventureiras, mostrando menos interesse pelo conhecimento científico associado a atividades de geoturismo e ao geossítio em si. No entanto, é importante realçar que a amostra da geração Alpha foi limitada, composta apenas por três respondentes, e os interesses observados podem não ser representativos de toda essa geração. Esses três respondentes mostraram ter interesses comuns em experiências emocionantes e dinâmicas, o que sugere uma preferência por atividades que ofereçam entretenimento e adrenalina. No entanto, é possível que esses resultados sejam influenciados pela pequena amostra e pela seleção específica desses participantes, o que pode não refletir com precisão as preferências da geração a que pertencem como um todo.

No entanto, os dados obtidos através das respostas sugerem que diferentes gerações têm expectativas e necessidades distintas em relação ao Geoturismo. Enquanto a Geração Alpha procura emoção e diversão, os Baby Boomers preferem infraestruturas adequadas e uma forte ênfase na conservação ambiental. Essas conclusões destacam a necessidade de uma abordagem segmentada no desenvolvimento de produtos e serviços de geoturismo para atender às diversas preferências das gerações.

Portanto, enquanto os dados sugerem que experiências de Geoturismo poderiam ser aprimoradas para incluir mais elementos de diversão para atrair o público jovem, e infraestrutura e conservação para satisfazer os Baby Boomers, é crucial considerar que essas conclusões devem ser interpretadas com cautela.

Para validar estas conclusões e garantir uma abordagem eficaz para atender às preferências das diferentes gerações, o estudo será expandindo para uma amostra maior e mais representativa. As futuras investigações serão necessárias para confirmar se estes padrões se mantêm consistentes em amostras mais amplas e diversificadas.

Referências

Allan, M., Dowling, R., & Sanders, D. (2015). The motivations for visiting geosites: The case of crystal cave, Western Australia. *Geojournal of Tourism and Geosites*, *16*(2), 141–152. https://www.researchgate.net/publication/279981277

Carrión-Mero, P., Dueñas-Tovar, J., Jaya-Montalvo, M., Herrera-Franco, G., Berrezueta, E., & Morante-Carballo, F. (2024). Assessment of UNESCO Global Geoparks websites for a public geocommunication. *International Journal of Geoheritage and Parks*, *12*(2), 223–240. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.04.001

Carvalho, C. N. de, Rodrigues, J., Jacinto, A., & Câmara Municipal Idanha-a-Nova. (2009). *Geoturismo & desenvolvimento local*. Câmara Municipal de Idanha-a-Nova.

Dowling, R. K. (2013). Global Geotourism – An Emerging Form of Sustainable Tourism. *Czech Journal of Tourism*, *2*(2), 59–79. https://doi.org/10.2478/cjot-2013-0004

Dowling, R. K., & Newsome, D. (2010). *Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape.* Oxford: Goodfellow Publishers.

Dowling, R., & Newsome, D. (2006). Geotourism's issues and challenges. In *Geotourism* (pp. 242–254). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6215-4.50021-X

Drugas, M. (2022). SCREENAGERS OR "SCREAMAGERS"? CURRENT PERSPECTIVES ON GENERATION ALPHA. *Psychological Thought*, *15*(1), 1–11. https://doi.org/10.37708/psyct.v15i1.732

Farsani, N. T., Coelho, C., & Costa, C. (2011). Geotourism and geoparks as novel strategies for socio-economic development in rural areas. *International Journal of Tourism Research*, *13*(1), 68–81. https://doi.org/10.1002/jtr.800

Hose, T. (1995). Selling the Story of Britain's Stone. *Environmental Interpretation* , *10*(2), 16–17.

Hose, T. A. (2012). 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage*, *4*(1–2), 7–24. https://doi.org/10.1007/s12371-011-0052-y

Jorge, M., & Guerra, A. (2016). *Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos*. https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5241

Newsome, D., & Dowling, R. Kingston. (2010). *Geotourism: the tourism of geology and landscape*. Goodfellow Publishers Ltd. https://doi.org/10.23912/978-1-906884-09-3-21

Newsome, D., Dowling, R., & Leung, Y.-F. (2012). The nature and management of geotourism: A case study of two established iconic geotourism destinations. *Tourism Management Perspectives*, *2–3*, 19–27. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2011.12.009

Reynard, E., & Coratza, P. (2007). Geomorphosites and geodiversity : a new domain of research. *Geographica Helvetica*, *62*(3), 138–147. https://doi.org/10.5194/gh-62-138-2007

Wever, N., Dupont, L., & Kalamar, R. (2016). Incorporating digital technology into geotourism experiences: applications and challenges. *Geoheritage*, *8*(4), 245–256.

ID27
Projeto integrado no 2ºano de LEGI da UMINHO: A experiência de 2024

I.B. Silva ([1]), B.B. Silva ([1]), J.C. Silva ([1]), M.F. Ribeiro ([1]), B.S. Gonçalves ([1]), T.C. Cunha ([1]), M.J.B. Padrão ([1])
a104681@uminho.pt, a104680@uminho.pt, a99938@uminho.pt, a104773@uminho.pt, a104675@uminho.pt, a104696@uminho.pt, a104691@uminho.pt

([1]) Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal

Resumo

Os processos de melhoria contínua nas empresas do setor industrial representam um desafio diário na prática profissional de Engenheiros e Gestores Industriais. A procura por eficiência, redução de custos, redução de tempos não produtivos e aumento de qualidade são objetivos constantes que exigem uma abordagem sistemática e inovadora. A aprendizagem através de projetos consiste numa experiência ativa em que os estudantes resolvem um problema real com aplicação dos conhecimentos adquiridos no semestre. O artigo pretende apresentar os principais resultados do Projeto Integrado em Engenharia e Gestão Industrial – II, realizado no 4º semestre do curso (2º ano) da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho. Iniciado em fevereiro e concluído em maio, o projeto deste ano letivo consistiu no estudo e otimização de um sistema de produção ou distribuição, aplicado a empresas localizadas na região norte de Portugal. Foram constituídas 9 equipas, compostas por 8 elementos, atribuídos de forma aleatória. Cada equipa foi desafiada a integrar os conceitos lecionados nas Unidades Curriculares do semestre referido. Para a viabilidade do projeto, a obtenção de *datasets* com dados reais foi da inteira responsabilidade dos alunos, que tomaram a iniciativa de contactar empresas próximas. Isto resultou numa elevada diversidade de produtos, destacando-se vinho, queijos, máscaras cirúrgicas, cartão e tabaco.

Palavras-Chave: Projeto integrado, Universidade do Minho, Sistema de distribuição, Otimização

1. Introdução

A engenharia é uma área de estudo desafiante na qual é fundamental haver a existência de um equilíbrio entre o conhecimento teórico, que é lecionado nas várias Unidades Curriculares, e as competências práticas (Carvalho et al., 2023). Por este motivo, o processo de aprendizagem é um fator que impacta os resultados que poderão a vir ser obtidos pelos estudantes, precisando, por isso, de sofrer a transição do método de ensino tradicional para um mais ativo (Leão et al., 2022). Desta forma, a aprendizagem ativa envolve abordagens que se focam mais no desenvolvimento duradouro de competências, tanto *hard skills* como *soft skills* (Michael, 2006). Assim no que toca a este tipo de ensino podemos incluir várias metodologias diferentes, como a aprendizagem baseada em investigação, a aprendizagem baseada em problemas, e a aprendizagem baseada em projetos (Ishiyama, 2013). Estas proporcionam aos alunos oportunidades para desenvolver e aperfeiçoar competências transferíveis em contextos reais (Fernandes et al., 2012). Um exemplo em concreto foi a identificação, por parte de Marnewick (2023), dessas mesmas competências após a concretização de uma aprendizagem por projetos numa universidade sul-africana.

Os estudantes de engenharia precisam de ter uma visão abrangente do sistema para que possam fazer as conexões entre os vários campos de conhecimento (Alves et al., 2017). Para isso, os estudantes devem apresentar uma maior envolvência na sua educação, melhorando fatores como o pensamento crítico, a análise de dados, a criatividade, a comunicação, a tomada de decisão informada, a colaboração eficaz em equipas diversificadas (Alves et al., 2019), a capacidade de retenção de conhecimento (Marja & Suvi, 2021; Prince, 2004), a resolução de problemas, a gestão de tempo (Pinto et al., 2023) e a compreensão profunda dos conceitos (Blinkoff et al., 2023) Além disso, precisam de estar sempre dispostos a aprender, uma vez que o mundo está continuamente a mudar (Alves & Soares, 2020).

Ao longo destes anos, diversos estudos e publicações têm documentado os desafios, benefícios e evolução desta abordagem educativa no contexto de Engenharia e Gestão Industrial (EGI). Tendo por base os aspetos expostos, o curso de EGI da Universidade do Minho adota na Unidade Curricular (UC) Projeto Integrado de Engenharia e Gestão Industrial II (PIEGI II), bem como noutras, tal como no Projeto Integrado de Engenharia e Gestão Industrial I (PIEGI I), o Modelo de Aprendizagem baseada em Projetos (*Project Based Learning* – PBL), por forma a despertar o interesse e a motivação dos alunos, podendo ser essas, razões para a implementação do PBL neste curso, lecionado nesta universidade, ser uma jornada contínua desde 2004.

Resumidamente, no nosso curso, durante um semestre, os alunos são levados a resolver problemas reais através do desenvolvimento de um projeto. Ou seja, há a envolvência de propostas de soluções, formulação de hipóteses e investigação e análise dos dados (Stefanou et al., 2013). De um modo geral, o estudante é visto como o centro de aprendizagem, sendo o resultado dessa influenciado pela vontade e empenho que é aplicado pelo aluno (Rossi et al., 2021). Contudo, as equipas podem, também, contar com o apoio e colaboração dos professores das diversas Unidades Curriculares, para lhes dar suporte quando houver necessidade (Alves et al., 2021).

Além desta área, engenharia, este tipo de aprendizagem também já é praticado em várias outras, como em ciências empresariais, ciências sociais (Walker & Leary, 2009), e saúde (Edelbring et al., 2020), tendo se revelado um meio de desenvolvimento da responsabilidade individual, da criatividade, da interdependência e da competição positiva (Rivaldi et al., 2020). Ou seja, a integração de abordagens de aprendizagem ativa nos currículos do ensino superior não só melhora os resultados académicos, como também prepara os alunos para superar as complexidades da área de gestão industrial (Chatpinyakoop et al., 2024).

O objetivo deste artigo é divulgar, de um modo geral, o funcionamento do projeto integrador e os resultados que foram obtidos por parte de alguns grupos, tendo estes por base o trabalho em equipa, a entreajuda, e a partilha de ideias e opiniões entre docentes e estudantes.

Este artigo encontra-se dividido em quatro capítulos. Após esta introdução está apresentado o capítulo dois, no qual é descrita a metodologia e os métodos utilizados. No capítulo três são explicados e ilustrados os resultados obtidos, pelas diversas Unidades Curriculares envolvidas. Por último, no último capítulo do artigo é exposta uma conclusão.

2. Metodologia e métodos

A UC de Projeto Integrado do 2º ano do curso de Engenharia e Gestão Industrial integra quatro Unidades Curriculares diferentes do 4º semestre, sendo elas Complementos de Estatística Aplicada, Investigação Operacional e Otimização, Métodos Numéricos e Tecnologias e Sistemas de Informação. O projeto desafiou os alunos a lidar com dados reais, exigindo habilidades de aprendizagem das UC's envolvidas, tais como a aplicação de técnicas de análise estatística de dados, ferramentas de manipulação e gestão de bases de dados e implementação de soluções de *software* relacionadas com análise de dados.

No ano letivo de 2023/2024, o projeto contou com 70 alunos da Licenciatura de Engenharia e Gestão Industrial (LEGI) e 2 alunos do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial (MIEGI), totalizando 72 alunos. Para a realização do projeto, formaram-se 9 equipas de 8 alunos, por sorteio na plataforma de *e-learning* Blackboard. O mesmo contou com a supervisão de 7 docentes, que desempenharam um papel crucial no auxílio e avaliação dos alunos. Estes não apenas orientaram os alunos durante todo o desenvolvimento do projeto, como também ofereceram suporte contínuo e *feedback* construtivo. Além disso, foram responsáveis por avaliar o progresso dos alunos em diferentes etapas, garantindo que os objetivos educacionais fossem alcançados. A colaboração entre docentes e alunos fortaleceu a qualidade do projeto e promoveu um ambiente de aprendizagem dinâmico e enriquecedor. A Tabela 1 apresenta uma breve caracterização dos intervenientes do projeto.

Tabela 1 – Caracterização dos intervenientes do projeto

PARÂMETROS	PIEGI II
Estudantes MIEGI	2 (3%)
Estudantes LEGI	70 (97%)
Número de estudantes do sexo feminino	43 (60%)
Número de estudantes do sexo masculino	29 (40%)
Número de professores	7

O objetivo do projeto do ano corrente passou pela definição de um sistema eficiente de distribuição para um produto de um setor industrial da região norte de Portugal.
No sentido de se obter um *dataset* detalhado sobre um produto, os grupos contactaram diversas empresas situadas no norte de Portugal. Este processo envolveu múltiplas tentativas e negociações, onde os grupos demonstraram a importância e a utilidade dos dados solicitados.
Com os dados em mãos, o projeto procurou otimizar a localização das instalações e a logística dos transportes, visando reduzir custos e aumentar a eficiência operacional. A aplicação de técnicas estatísticas apropriadas para

analisar os dados de forma rigorosa foi essencial para extrair *insights* significativos e relevantes. Além disso, foram utilizados e desenvolvidos modelos numéricos para aproximar e prever dados futuros, auxiliando na tomada de decisões estratégicas. Para organizar os dados de maneira eficiente, o projeto incluiu a conceção e implementação de bases de dados relacionais.

A Tabela 2 representa um resumo de algumas das empresas fornecedoras dos *datasets* e os respetivos produtos, o número de casos a tratar, bem como, a informação (variáveis) registada para cada caso.

Tabela 2 – Resumo informativo de cada equipa

EMPRESA FORNECEDORA DO *DATASET*	PRODUTOS	NÚMERO DE CASOS A ANALISAR	NÚMERO DE VARIÁVEIS
SMSA- Sebastião & Martins, S.A.	Caixas de cartão	923 (artigos encomendados)	22
Aphros Wine	Vinho	740 (encomendas relativas a 2022 e 2023)	20
Lourofood, Lda	Queijo	8849 (relativos a 1 ano de venda-2023)	13
Injectaris – Indústria de Plásticos, Lda	Armário de Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro	446 (relativos às vendas de 2023)	17
Anónima	Bolachas, Barritas, *Crackers* e *Snacks*	424 (encomendas relativas a 2022 e 2023)	10
AFH Tabacos do Norte, S.A.	Tabaco	614 (uma venda do fornecedor de tabaco para o café)	21
Anónima	Máscaras cirúrgicas	267 (encomendas efetuadas na semana de 03/11/2023 a 10/11/2023)	20

No decorrer do projeto, foi escrito um relatório detalhado, documentando todo o processo, isto é, as metodologias utilizadas, os resultados obtidos e as conclusões alcançadas.
Durante o desenvolvimento do projeto, foram realizadas reuniões semanais às quartas-feiras, das 9h10 às 12h, em salas especificamente designadas para esse fim, conhecidas como salas do PLE. Considerando a necessidade de um ambiente propício ao trabalho, as nove equipas foram distribuídas nas três salas disponíveis. Conforme decidido pelos docentes, as quatro primeiras equipas foram alocadas na primeira sala, as equipas 5, 6, 7 e 8 na segunda sala, e a equipa 10 na última sala, a de menor dimensão. Esta estrutura foi implementada para garantir que cada grupo tivesse um ambiente adequado para discutir e desenvolver as suas tarefas, o que permitiu reduzir distrações, facilitando a comunicação interna entre os colegas de equipa.

Para garantir um acompanhamento eficaz do progresso das equipas, foram estabelecidos quatro pontos de controlo ao longo do projeto, que incluiu uma apresentação e discussão do *poster* (10%), um relatório intermédio (20%), um relatório final (40%) e uma apresentação e discussão final (30%). Estes pontos de controlo foram momentos cruciais pois cada grupo apresentava o seu progresso, recebia *feedback* por parte dos docentes e ajustava os seus relatórios conforme o necessário, levando a um aprimoramento contínuo.

O primeiro ponto de controlo, realizado a três semanas do início das aulas, passou pela criação e posterior apresentação de um *poster* realizado por cada equipa, onde se pretendeu que cada uma apresentasse o seu ponto de partida, isto é, qual o produto escolhido para a otimização do seu sistema de distribuição, a empresa que iria fornecer o *dataset*, o número de casos e variáveis em estudo. O segundo ponto de controlo passou pela realização de um relatório preliminar que, depois do *feedback* dos docentes, serviria de mote para o relatório final. O terceiro ponto de controlo foi o relatório final e o último passou pela realização de uma apresentação em PowerPoint, durante 12 minutos, que reunisse os pontos importantes do relatório final, onde os membros das equipas tiveram de apresentar na presença dos docentes e de uma outra equipa, escolhida aleatoriamente pela BlackBoard. As equipas que assistiam às apresentações tinham a oportunidade de colocar questões, o que tornou o momento de avaliação mais dinâmico e interativo. Esta interação entre os alunos ajudou a desenvolver habilidades de comunicação e pensamento crítico, preparando-os melhor para situações reais no contexto profissional.

A avaliação dos membros das equipas passou pela realização de avaliações *peer*, onde cada um avaliou de 0 a 10 os restantes colegas em cinco critérios estabelecidos pelos docentes, sendo eles: a Presença nas reuniões, o Nível de esforço no trabalho, os Contributos originais, o Relacionamento interpessoal e o Cumprimento de prazos. A avaliação de cada aluno consistiu na nota dos pontos de controlo, dadas pelos docentes multiplicando-a pela percentagem obtida em cada avaliação *peer*.

3. Resultados e Discussão

De seguida serão apresentados alguns métodos usados no projeto, bem como algumas conclusões retiradas das diversas análises realizadas pelas equipas.

3.1. Empresa SMSA - Sebastião & Martins, S.A.

A SMSA - Sebastião & Martins, S.A. é uma referência na indústria de cartão canelado e embalagens, com sede localizada no Vale do Ave. O seu portfólio inclui uma ampla gama de produtos, desde placas e caixas de cartão até soluções personalizadas, atendendo às necessidades específicas dos seus clientes. Destacando-se pelo seu compromisso com a sustentabilidade, ela é detentora do selo FSC (Forest Stewardship Council).
No que diz respeito ao seu sistema distributivo esta empresa é autónoma, mantendo uma frota própria de camiões para a distribuição dos seus produtos, no entanto, para atender localidades mais distantes da sua base, estabeleceu parceria com empresas especializadas em transporte, garantindo assim uma cobertura nacional abrangente e eficiente.

Tecnologias e Sistemas de Informação: Organização dos dados

Para aplicar os conhecimentos obtidos nas aulas de Tecnologias e Sistemas de Informação, foi proposto aos grupos modelar e analisar os dados propostos através do MySQL, um software de código aberto que utiliza a linguagem SQL para implementar um sistema de gestão de dados (Oracle, 2024).

Inicialmente, os alunos desenvolveram a partir do dataset disponibilizado o Modelo Conceptual de Dados (Figura 1) com o objetivo de definir as entidades, os atributos e as relações entre eles.

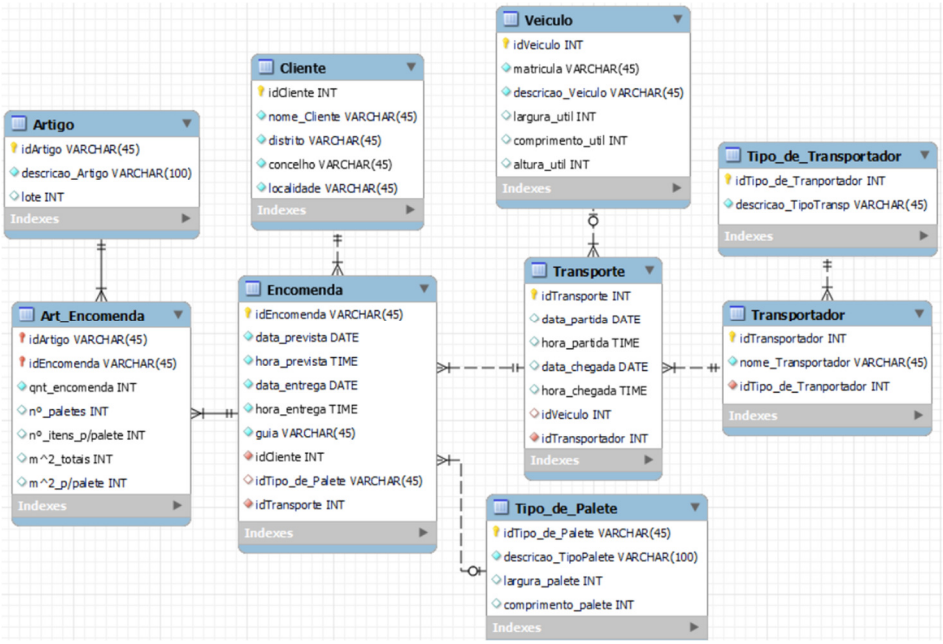


Figura 1 – Exemplo de Modelo Conceptual de Dados no MySQL

A partir deste foi construído o Modelo Relacional de Dados e efetuado o processo de normalização dos dados. Tal é feito com a finalidade de evitar a duplicação de dados e verificar a coerência do Modelo Conceptual e do Modelo Relacional.

Com ambos os modelos criados, os alunos estão prontos para prosseguirem com a importação dos dados, de modo a obterem o Modelo Físico. Para isso, muitos grupos usaram funções do Excel e o auxílio do Python para tornarem as tabelas consistentes. A partir deste ponto, os alunos tinham a base pronta para realizar as queries necessárias para o tratamento dos dados (Figura 2).

```sql
USE empresa_cartao;

SELECT e.data_prevista,
       MAX(a.qnt_encomenda) AS max_quantidade,
       MIN(a.qnt_encomenda) AS min_quantidade,
       AVG(a.qnt_encomenda) AS media_quantidade,
       SUM(a.qnt_encomenda) AS soma_quantidades,
       SUM(CASE WHEN c.distrito = 'Braga' THEN a.qnt_encomenda ELSE 0 END) AS qnt_Braga,
       SUM(CASE WHEN c.distrito = 'Porto' THEN a.qnt_encomenda ELSE 0 END) AS qnt_Porto
FROM Empresa_Cartao.Encomenda e
JOIN Empresa_Cartao.Art_Encomenda a ON e.idEncomenda = a.Encomenda_idEncomenda
JOIN Empresa_Cartao.Cliente c ON e.Cliente_idCliente = c.idCliente
GROUP BY e.data_prevista;
```

Figura 2 – Exemplo de uma query feita no MySQL.

De forma a integrar os conhecimentos em Python e desenvolver uma análise mais aprofundada, os alunos foram convidados a implementar um programa neste software. A integração da biblioteca MySQL Connector permitiu que o Python se comunicasse com a base de dados no MySQL.

3.2. Empresa Aphros Wine

A empresa Aphros Wine, localizada em Ponte de Lima e dirigida por Vasco Croft, iniciou o seu percurso em 2004, sendo a visão de um projeto ecológico e sustentável para o futuro (Croft, n.d.). Esta é uma produtora de vinho portuguesa que apresenta uma elevada gama de vinhos, incluindo tinto, branco e rosé, à disposição dos seus clientes. A empresa exporta para todo o mundo os seus artigos, contudo o seu sistema de distribuição baseia-se na contratação de distribuidores para cada país, não possuindo um sistema próprio.

Estatística: Análise dos dados

Após a recolha e posterior organização dos dados fornecidos pela empresa, começou-se por importar os dados para o SPSS, de modo a explorá-los e tratá-los através de estudos fidedignos das variáveis. Perante os conhecimentos adquiridos em Complementos de Estatística Aplicada, com a informação que foi disponibilizada acerca das variáveis, foram realizadas várias análises exploratórias. De seguida, mostram-se as análises realizadas relativas à quantidade de vinho vendido (caixas), por encomenda, em Portugal, por entidades e respetivo distribuidor.

Inicialmente, começou-se por estudar a distribuição da quantidade do artigo, neste caso do vinho, por distrito. Assim obteve-se o gráfico *boxplot* apresentado na Figura 3, que levou a equipa a concluir, pela existência de *outliers*, que os dados não seguem uma distribuição normal, e que Lisboa e Vila Real têm uma maior relevância relativamente aos outros distritos, facto este que levou o grupo a agrupar os restantes destinos num único grupo ("Outros destinos") para análises posteriores.

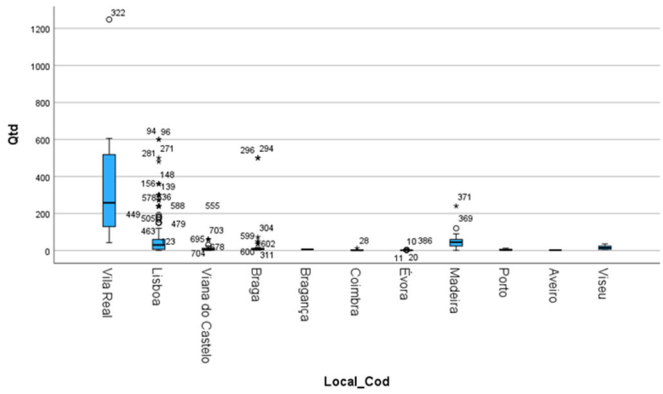


Figura 3 – Boxplot obtido em relação à quantidade vendida por distrito

Decidiu-se também realizar uma comparação relativa aos diversos preços de vinho para as diferentes gamas vendidas pela empresa Aphros Wine. Para isso, agruparam todas as classificações existentes por gamas - Aphros, Evoé, Phaunus e Uivo Loureiro - e foi realizada uma análise exploratória para se entender a distribuição dos dados.

Através dessa excluiu-se a Uivo Loureiro, pelo baixo número de casos. Assim, realizou-se o teste de *Kruskal-Wallis*, tendo concluído que poderão existir diferenças significativas no preço médio entre as três gamas de vinho analisadas, para um nível de significância de 1%.

Para confirmar que o preço não segue uma distribuição normal, a equipa realizou um teste de bom ajuste, mais especificamente o de *Lilliefors* para a normal, visto que que a distribuição teórica não está completamente especificada nos seus parâmetros. Desta forma, obteve-se um valor de prova que permitiu concluir, para um $\alpha = 1\%$, que o preço poderá não seguir uma distribuição normal (com média e variância desconhecidas).

Por curiosidade, o grupo decidiu também verificar se a distribuição dos dados referentes à quantidade transportada pelos dois distribuidores seria semelhante. Assim, como a empresa a que se referem os dados disponibilizados tem apenas dois distribuidores para Portugal, ou seja, duas amostras distintas e independentes, foi realizado o teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Deste resultou um valor de prova que permitiu afirmar que a distribuição da quantidade vendida poderá não ser idêntica para os dois distribuidores.

Dada a variedade de vinhos comercializados pela empresa, a equipa achou por bem investigar se existe um padrão para os dois anos, isto é, 2022 e 2023. Assim, foi executado um teste de homogeneidade da proporção do número de encomendas entre cada classificação de artigo e os anos de venda, associados a uma tabela de contingência RxC. De acordo com os resultados apresentados no SPSS, para um $\alpha = 1\%$, o número de encomendas de cada classificação de artigo poderá não ser homogéneo nos dois anos de venda. Esta conclusão revela que as preferências dos clientes da empresa Aphros Wine podem ter mudado.

Por último, na tentativa de explicar como varia a quantidade vendida em cada encomenda, o grupo realizou uma regressão linear múltipla com todas as variáveis que foram consideradas pertinentes para o caso, sendo estas: ano de venda, preço, mês de venda, gama de vinho e, ainda, o destino da encomenda. Para isto acontecer, criaram variáveis *dummy,* a partir das variáveis nominais dessa lista, ou seja, ano de venda, mês de venda, gama de vinho e destino. Deste modo, após a exclusão de coeficientes não estatisticamente significativos, obtiveram a Equação 1, tendo por base a Tabela 3, que tem como variável dependente a quantidade vendida de caixas de vinho ($\hat{Y}$) e como variáveis independentes o preço, a gama Evoé (*dummy*), os destinos Vila Real e Lisboa (*dummy*) e os meses 5 e 9 (maio e setembro) (*dummy*), sendo respetivamente X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 e X_6:

$$\hat{Y} = 63{,}608 - 4{,}435X_1 - 30{,}780X_2 + 334{,}702X_3 + 36{,}604X_4 + 18{,}852X_5 + 44{,}009X_6 \qquad (1)$$

Tabela 3 – Output dos coeficientes da regressão que estima a quantidade vendida por encomenda

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients B	Unstandardized Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1	(Constant)	63,608	10,334		6,155	<,001
	Preço	-4,435	,802	-,195	-5,533	<,001
	Classificacao_Marcas=Vinhos da gama EVOÉ	-30,780	15,963	-,066	-1,928	,054
	Local_Cod_3=Vila Real	334,702	31,522	,354	10,618	<,001
	Local_Cod_3=Lisboa	36,604	6,791	,184	5,390	<,001
	mes=5.0	18,852	11,388	,054	1,655	,098
	mes=9.0	44,009	14,319	,101	3,073	,002

a. Dependent Variable: Qtd

3.3. Empresa Lourofood, Lda

A empresa Lourofood, Lda, situada em Vila Nova de Famalicão, no distrito de Braga, é especializada na produção e distribuição de queijos. Desde a sua fundação, no ano de 2000, esta empresa orienta todos os seus esforços para responder com qualidade, versatilidade, credibilidade e prontidão aos seus clientes (Lourofood, 2024).

Assim, a empresa Lourofood tem o interesse de melhorar e de se desenvolver. Para tal, deu acesso, a um *dataset*, relativamente ao ano de 2023, composto por 8849 casos e 13 variáveis. Essas variáveis são: Picking, dt_picking, país, local, distrito, cliente, transportadora, número de_caixas, número de_paletes, peso_bruto, tipo de_documento, entrega, morada_entrega.

Estatística: Análise dos dados

Devido à pouca variabilidade de dados (13 variáveis), a equipa deparou-se com bastantes testes diferentes para as mesmas variáveis. Em contrapartida, o facto de a empresa ter facultado 8849 casos, requereu algum tempo para

fazer a preparação e limpeza desses mesmos dados. Por conseguinte, com a base de dados devidamente organizada, foi então possível proceder-se com a análise estatística.

Em seguida, apresentam-se as principais conclusões que foram retiradas através dos diferentes testes estatísticos realizados no SPSS:

- Possível existência de diferenças significativas no número de caixas vendidas consoante o distrito;
- Os fatores semestre e país poderão não influenciar o número de caixas vendidas;
- Possibilidade de não existirem diferenças significativas do número de caixas vendidas ao longo do ano, concluindo-se assim que o produto não é sazonal;
- Possibilidade de existência de uma relação dependente entre a transportadora e o distrito do destinatário;
- Possibilidade de existir uma associação linear/monótona entre os maiores valores do número de paletes com os maiores valores do peso total de caixas;
- Possibilidade de existirem diferenças significativas do peso unitário de caixas por transportadora;
- O número de caixas entregues pode ser explicado por: Tipo de Cliente e Código do País.

3.4. Empresa Injectaris – Indústria de Plásticos, Lda

A Injectaris – Indústria de Plásticos, Lda é uma empresa especializada na injeção de plásticos e tem como principal foco a produção para a indústria elétrica. O produto analisado foi o Armário de Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro, aplicado nos setores da energia e telecomunicações graças às suas qualidades universais.

Após investigar a dinâmica de produção desde as encomendas de *stock* até ao processo de venda, o grupo identificou que as matérias-primas constituintes do armário, nomeadamente, tejadilhos, fundos, laterais e portas são importadas da Polónia. O intervalo entre a data de encomenda e a chegada da mercadoria é de cerca de duas semanas, o que levou ao estudo da procura para determinar a quantidade de matéria-prima a encomendar em cada período.

Métodos Numéricos: Método dos Mínimos Quadrados

Utilizou-se o método dos mínimos quadrados, com o intuito de encontrar os parâmetros de um modelo matemático que melhor se ajustassem ao conjunto de dados, através de uma equação matemática que relaciona duas variáveis, neste caso a quantidade de armários encomendados e o número de encomendas por mês.

Foram usados os dados provenientes do *dataset* da Injectaris relativos ao produto em questão. Estes foram trabalhados no *software* de apoio, o Matlab, recorrendo à aplicação Curve Fitter. Como resultado, obteve-se a Equação 2. Os dados e o modelo obtido estão representados na Figura 4.

$$f(x) = 0{,}3522x4 - 15{,}2165x3 + 122{,}1461x2 + 110{,}0179x + 812{,}7323 \quad (2)$$

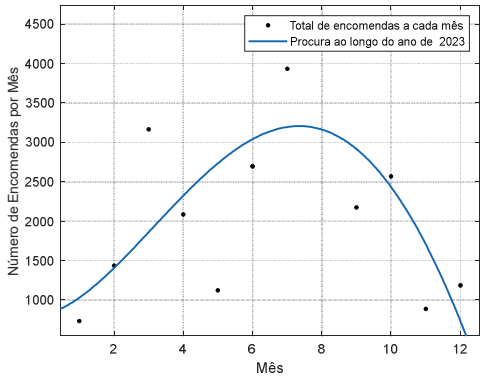


Figura 4 – Número de encomendas por mês em 2023 (dados reais e previsão do modelo numérico)

Após análise dos resultados, foi possível concluir que os meses de maior procura são entre junho e setembro. Isto acontece, provavelmente, devido às condições meteorológicas serem favoráveis à aplicação dos armários.

Este estudo permite obter informações importantes de forma a implementar um sistema de gestão de *stock* que leve em consideração as variações na procura, garantindo que as encomendas de matérias-primas sejam feitas com antecedência suficiente para atender às necessidades de produção nos meses de maior procura. Isso ajudará a evitar faltas de *stock* e a minimizar custos de armazenamento excessivo.

3.5. Empresa Anónima

A empresa em questão, cujo nome não pode ser revelado, é uma distribuidora de produtos alimentares, nomeadamente bolachas, barritas, *crackers* e *snacks*, focada na otimização do seu sistema de distribuição de produtos.

Métodos Numéricos: Método dos Mínimos Quadrados

Para compreender melhor a procura e ajustar as suas operações, realizou-se um estudo detalhado sobre as tendências de vendas utilizando métodos numéricos aplicados ao número de encomendas registadas nos anos de 2022 e 2023. Utilizando a quantidade diária de vendas, foram testadas várias funções (polinómios de graus 1, 2 e 3, e função seno) para identificar a que melhor se ajustasse aos dados históricos. Para isso adotou-se o critério dos Mínimos Quadrados e, com o auxílio da *toolbox* Curve Fitter do Matlab, procurou-se a curva que melhor representasse as vendas ao longo do ano.

O estudo revelou que a melhor representação dos dados de vendas foi um polinómio de grau 1, sugerindo uma tendência linear ao longo do tempo. Durante a análise dos períodos de verão e inverno, observou-se que, apesar das diferenças sazonais, a linearidade permanecia, com o verão a mostrar uma leve diminuição e o inverno um aumento nas vendas. Os indicadores de ajuste do modelo, como o SSE, R-squared e RMSE, demonstraram que o polinómio de grau 1 era o mais adequado, especialmente para o inverno, que apresentou um ajuste ligeiramente melhor.

Concluiu-se, dessa forma, que a procura segue um padrão linear, possibilitando a simulação e previsão de vendas futuras com base na curva ajustada do inverno. Isto permitirá à empresa otimizar o seu sistema de distribuição de forma mais eficaz, respondendo à procura de forma precisa e eficiente.

3.6. Empresa AFH Tabacos do Norte, S.A.

A AFH Tabacos do Norte, S.A., uma empresa localizada em Guimarães, desempenha um papel crucial na distribuição de tabaco no distrito do Porto. Este estudo teve como objetivo principal otimizar a rota de um determinado dia de distribuição do tabaco, aumentando a eficiência logística e, consequentemente, os lucros da empresa.

Investigação Operacional e Otimização: Otimização da Rota de Distribuição de Tabaco

Através de dados fornecidos pela AFH Tabacos do Norte, incluindo as localizações dos clientes, foi possível calcular as distâncias entre eles e com isso aplicou-se o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), utilizando o *software* GUSEK. Este problema visa determinar a rota mais eficiente, minimizando a distância total percorrida pelo distribuidor.

Neste seguimento, apresentam-se os resultados obtidos e as principais conclusões obtidas pelo método PCV. A rota ótima calculada pelo GUSEK indicou um percurso total de 199 quilómetros, abrangendo os seguintes pontos:

1. AFH Tabacos do Norte em Guimarães (Origem) → **2.** Póvoa de Varzim → **3.**Caxinas → **4.** Vila do Conde Ponto 2 → **5.** Vila do Conde Ponto 1 → **6.** Trofa → **7.** Porto → **8.** Vila Nova de Gaia → **9.** Penafiel → **10. Retorno a Guimarães (Origem)**

Este percurso resulta num custo de distribuição de 149,25 euros, considerando o custo médio de 0,75 euros por quilómetro. Com um rendimento total de 939,26 euros, a margem de lucro para esta rota é de 790,01 euros, excluindo outros custos operacionais.

A otimização da rota de distribuição permitiu não apenas a redução dos custos, mas também a maximização do tempo disponível para lidar com imprevistos, uma vez que o tempo total necessário para a rota, incluindo carregamento e descarregamento, é de 7 horas e 32 minutos, deixando um *buffer* de 28 minutos dentro do horário laboral de 8 horas.

Apesar da rota otimizada em termos de distância, a variabilidade no tempo de viagem devido a fatores como trânsito, condições climáticas e eventuais paragens não programadas, pode impactar a eficiência logística. Portanto, é essencial que a empresa considere estas variáveis ao planear as suas rotas.

Este estudo demonstrou a importância da aplicação de modelos matemáticos e ferramentas de otimização na gestão logística, proporcionando uma base sólida para melhorias contínuas na eficiência operacional da AFH Tabacos do Norte, S.A. A implementação destas estratégias poderá servir como modelo para outras empresas do setor, promovendo uma cadeia de abastecimento mais eficiente e lucrativa.

3.7. Empresa Anónima

A empresa em questão, cujo nome não pode ser revelado, é uma empresa de capitais 100% portugueses, instalada no norte do país, que produz máscaras cirúrgicas descartáveis, certificadas e de qualidade irrepreensível, procurando contribuir, assim, para a diminuição da dependência que a Europa tem de países terceiros. É uma empresa que surge do enquadramento da pandemia da COVID-19 e as implicações que provocou, à escala global, na saúde e segurança das pessoas.

Investigação Operacional e Otimização: Otimização da Rota de Distribuição de Máscaras Cirúrgicas

O problema de otimização incidiu no desenvolvimento de um sistema eficiente de distribuição híbrido (frota própria + subcontratação) cujo principal objetivo passou por conjugar os pontos fortes do sistema de distribuição interno, que foi projetado pela equipa 10, com os parceiros logísticos, de distribuição externos. Enfatiza-se que, a frota própria satisfaz os clientes mais próximos geograficamente da sede da empresa e o parceiro logístico satisfaz os clientes mais afastados geograficamente.

Para o efeito, decidiu-se analisar um dos conceitos mais conhecidos da Investigação Operacional designado por Problema do Caixeiro Viajante, que se baseia no problema de afetação inteira e por isso a equipa formulou o problema da seguinte forma:

Variáveis de decisão:

Seja n o número de clientes, numerados de 1 a n. As variáveis de decisão, usadas nesta formulação matemática, são variáveis binárias x_{ij}, indicando se o caminho vai do cliente i para o cliente j. Estas variáveis são definidas segundo a Equação 3.

$$xij = \begin{cases} 1, & se\ o\ caminho\ vai\ do\ cliente\ i\ para\ o\ cliente\ j \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}, \quad \forall \mathrm{i}, \forall \mathrm{j} \tag{3}$$

Função objetivo:

Dados um conjunto de clientes e as distâncias entre eles, o objetivo passou por determinar qual o percurso de menor comprimento que passa por todos os clientes, ou seja, minimizar a distância total da rota criada e com isso garantir um custo, de deslocação, mais baixo. O custo (ou distância), do cliente i para o cliente j, é denotado como $c_{ij} > 0$. Assim, a expressão que define a função objetivo do problema é dada pela Equação 4.

$$min\ z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \tag{4}$$

Restrições:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1\ , \forall i \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1\ , \forall j \tag{6}$$

$$\sum_{i \epsilon S}^{n} \sum_{j \epsilon S}^{n} x_{ij} \leq |S| - 1, \ \forall S \subset V, S \neq 0 \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, \forall j \tag{8}$$

A restrição dada pela Equação 5 significa que, de todos os arcos ou caminhos que saem do vértice i, apenas um deles pode pertencer ao circuito. Por outro lado, a restrição representada pela Equação 6 apenas permite que, dos arcos ou caminhos que entram no vértice j, um possa pertencer ao circuito. A restrição dada pela Equação 7 garante que para qualquer subconjunto S de clientes, o número total de arestas dentro desse subconjunto é menor que o número de clientes nesse subconjunto menos 1, evitando a formação de subciclos. Por fim, a Equação 8 significa que, se $x_{ij} = 1$, o arco ou caminho que liga o cliente i ao cliente j está incluído na solução ótima e se $x_{ij} = 0$, significa que não existe caminho direto entre o cliente i e o cliente j na rota, sendo que o caminho que liga estes clientes não está incluído na solução ótima. Para finalizar, todas estas restrições garantem que cada cliente é visitado apenas e uma só vez durante a rota, garantindo também a não existência de ciclos.

Tendo o problema formulado recorreu-se às ferramentas Matlab e Matlog com o intuito de se determinar as rotas ótimas, rotas essas associadas a cada um dos dias da semana dos dados disponibilizados no *dataset,* isto é, de 3/11/2023 a 10/11/2023. Numa primeira fase, através do Google Maps, foram recolhidas as coordenadas (x e y) de todos os clientes a que foram feitas as entregas das encomendas. De seguida, recorrendo ao *software* Matlab, e tendo por base o conceito da heurística 2-opt, aplicou-se a ferramenta Matlog. Para além da aplicação da heurística 2-opt, decidiu-se também estudar a determinação da rota ótima a partir da linguagem de programação AMPL. Para o efeito, recorreu-se à plataforma NEOS Server, onde foram codificadas em AMPL três Scripts, a Script associada ao modelo, a Script associada à instância e a Script associada ao comando.

Os valores dos tempos e das distâncias usadas no estudo foram retirados do Google Maps e os valores associados ao transporte como o preço do gasóleo, os valores das portagens e o consumo (gasóleo simples) por 100 quilómetros do veículo de transporte foram retirados do site da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

No final, o estudo revelou ser mais vantajoso a empresa optar por somente uma empresa de distribuição e não pelas três que tinha inicialmente, optando-se pela TORRESTIR, devido à sua proximidade geográfica à sede da empresa. Devido à variabilidade da procura das máscaras cirúrgicas, a equipa considerou que poderá existir necessidade de investir na frota própria, através da compra de, pelo menos, mais uma carrinha comercial de mercadorias e/ou a contratação de mais um funcionário responsável pela condução da mesma. Inferiu-se ainda que a empresa não deve abandonar por completo o processo de distribuição, mesmo que recorra a parceiros logísticos de forma a assegurar este processo. A otimização da rota de distribuição permitiu a redução dos custos, devido à redução das distâncias percorridas entre os hospitais.

4. Conclusão

O PIEGI II proporcionou um ambiente de aprendizagem, tanto teórico como prático, onde se pôde desenvolver pensamento crítico, identificando e resolvendo problemas do mundo real, o que possibilitou a preparação para os desafios do mercado profissional. De uma forma geral, como resultados obtidos, foi possível a criação de uma base de dados com variáveis para o tratamento e expedição das encomendas, a identificação dos dias/meses críticos da procura/entrega das encomendas e das variáveis críticas na expedição das encomendas (diferenças entre produtos, locais de entrega, meses de encomenda, entre outros), a determinação de um modelo de regressão para previsão da quantidade encomendada, e a otimização das rotas de entrega. Além disso, houve a possibilidade de aprender a analisar dados, tomar decisões e trabalhar em equipas formadas aleatoriamente. Este último aspeto promoveu a colaboração, exigindo que os alunos trabalhassem eficazmente em equipa, com colegas de personalidades distintas, impulsionando o progresso dentro do seu grupo de trabalho e refletindo a dinâmica de um ambiente profissional. O projeto levou, ainda, os alunos a aprenderem de forma independente e a desenvolverem uma mentalidade de crescimento, através de relatórios preliminares para transformar erros em oportunidades de aprendizagem, promovendo, assim, a melhoria contínua.

Ao implementarem os conceitos abordados nas aulas das quatro Unidades Curriculares envolvidas no projeto, os alunos demonstraram a aplicabilidade prática dos conhecimentos teóricos adquiridos. Utilizando os dados fornecidos pelas empresas, foram capazes de abordar problemas reais relacionados aos sistemas de distribuição dos produtos fabricados, um desafio comum enfrentado pelos engenheiros de gestão industrial. Este projeto não apenas permitiu aos alunos aplicar técnicas de estatística, investigação operacional, métodos numéricos e tecnologias de sistemas de informação na resolução de problemas concretos, como também possibilitou a proposta de melhorias significativas para os sistemas de distribuição das empresas.

A relevância e a aplicabilidade destes conceitos no contexto dos projetos reforçam a importância do PBL em proporcionar uma formação prática e orientada para a solução de problemas reais, preparando os alunos para enfrentar desafios complexos e dinâmicos na área da engenharia e gestão industrial.

Referências

Alves, A. C., Hattum, N. J. Van, & Fernandes, S. (2021, July). Teacher collaboration in PBL: setting the example for the students. *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education; Active Learning in Engineering Education Workshop; International Conference on Active Learning in Engineering Education (PAEE/ALE'2021)*. https://doi.org/10.5281/zenodo.5093791

Alves, A. C., Moreira, F., Carvalho, M. A., Oliveira, S., Malheiro, M. T., Brito, I., Leão, C. P., & Teixeira, S. (2019). Integrating Science, Technology, Engineering and Mathematics contents through PBL in an Industrial Engineering and Management first year program. *Production*, *29*. https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180111

Alves, A. C., Moreira, F., Leão, C. P., & Teixeira, S. (2017, November 3). Tutoring Experiences in PBL of Industrial Engineering and Management Program: Teachers vs Students. *Volume 5: Education and Globalization*. https://doi.org/10.1115/IMECE2017-71306

Alves, A. C., & Soares, F. (2020). *Interdisciplinary contents integration and key competences developed in a project work of Industrial Engineering and Management third year* (University of Minho, Ed.). https://hdl.handle.net/1822/69921

Blinkoff, E., Nesbitt, K. T., Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (2023). Investigating the contributions of active, playful learning to student interest and educational outcomes. *Acta Psychologica*, *238*, 103983. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2023.103983

Carvalho, V. M., Costa, L., Teixeira, S. F. C. F., & Rodrigues, C. M. S. (2023). *A PBL experience with second-year students of Industrial Engineering* (PAEE Association, Ed.). https://hdl.handle.net/1822/90480

Chatpinyakoop, C., Hallinger, P., & Showanasai, P. (2024). Assessing the effects of online simulation-based learning on skills in managing change for corporate sustainability. *The International Journal of Management Education*, *22*(2), 100960. https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.100960

Croft, V. (n.d.). *Aphros wines*. Retrieved July 26, 2024, from https://aphros-wine.com/en/project/

Edelbring, S., Alehagen, S., Mörelius, E., Johansson, A., & Rytterström, P. (2020). Should the PBL tutor be present? A cross-sectional study of group effectiveness in synchronous and asynchronous settings. *BMC Medical Education*, *20*(1), 103. https://doi.org/10.1186/s12909-020-02018-3

Fernandes, S., Flores, M. A., & Lima, R. M. (2012). Student Assessment in Project Based Learning. In *Project Approaches to Learning in Engineering Education* (pp. 147–160). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-958-9_10

Ishiyama, J. (2013). Frequently used Active Learning Techniques and Their Impact: a Critical Review of Existing Journal Literature in the United States. *European Political Science*, *12*(1), 116–126. https://doi.org/10.1057/eps.2012.3

Leão, C. P., Abreu, M. F., Alves, A. C., & Fernandes, S. (2022, July 6). *PBL tutoring dynamics in first-year of Industrial Engineering and Management Program*. https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.7061886

Lourofood. (2024). *QUALIDADE, VERSATILIDADE, CREDIBILIDADE E PRONTIDÃO*. https://www.lourofood.com/?fbclid=IwAR1ylZ2Q-IsmuCKp_9bBY15Z-oFcW3rKvDW0dxgQQwxby7N5WCrXjVWSISE

Marja, S.-L., & Suvi, A. (2021). Cultural competence learning of the health care students using simulation pedagogy: An integrative review. *Nurse Education in Practice*, *52*, 103044. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2021.103044

Marnewick, C. (2023). Student experiences of project-based learning in agile project management education. *Project Leadership and Society*, *4*, 100096. https://doi.org/10.1016/j.plas.2023.100096

Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works? *Advances in Physiology Education*, *30*(4), 159–167. https://doi.org/10.1152/advan.00053.2006

Oracle. (2024). *What Is MYSQL?* https://www.oracle.com/mysql/what-is-mysql/

Pinto, A., Oliveira, S., & Carvalho, C. (2023). Do transferable skills matter for engineering students? *2023 5th International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/CISPEE58593.2023.10227618

Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, *93*(3), 223–231. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x

Rivaldi, D., Megayanti, T., & Aryanti, T. (2020). Digital peer tutoring in engineering education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *830*(4), 042070. https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/4/042070

Rossi, I. V., de Lima, J. D., Sabatke, B., Nunes, M. A. F., Ramirez, G. E., & Ramirez, M. I. (2021). Active learning tools improve the learning outcomes, scientific attitude, and critical thinking in higher education: Experiences in an online course during the <scp>COVID</scp> -19 pandemic. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *49*(6), 888–903. https://doi.org/10.1002/bmb.21574

Stefanou, C., Stolk, J. D., Prince, M., Chen, J. C., & Lord, S. M. (2013). Self-regulation and autonomy in problem- and project-based learning environments. *Active Learning in Higher Education*, *14*(2), 109–122. https://doi.org/10.1177/1469787413481132

Walker, A., & Leary, H. (2009). A Problem Based Learning Meta Analysis: Differences Across Problem Types, Implementation Types, Disciplines, and Assessment Levels. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, *3*(1). https://doi.org/10.7771/1541-5015.1061

Wu, T.-T., Sari, N. A. R. M., & Huang, Y.-M. (2024). Integrating extended formative assessment in flipped jigsaw learning: Promoting learning engagement and higher-order thinking skills in international business education context. *The International Journal of Management Education*, *22*(1), 100930. https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.100930

ID28
Modelo de programação linear inteira mista para o problema de escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas com troca de ferramentas

R. C. Santos ([1]), A. Mota ([2]), L.M. Afonso ([2])
1190988@isep.ipp.pt, atm@isep.ipp.pt, lma@isep.ipp.pt

([1]) CPLOT – Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
([2]) CPLOT - Departamento de Matemática, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Resumo

A crescente competitividade tem estimulado as empresas a melhorar a eficiência dos seus processos produtivos, tornando a flexibilidade e a adaptabilidade essenciais para um sistema produtivo eficaz. Nesse contexto, as máquinas, que são a base de qualquer sistema produtivo, evoluíram com a tecnologia para desempenhar múltiplas tarefas, reduzindo a necessidade de diversos equipamentos. No entanto, essas máquinas têm uma capacidade limitada de armazenamento de ferramentas no carrossel, o que exige trocas frequentes para lidar com a variedade de tarefas e produtos. Este estudo aborda o problema de escalonamento de trabalhos com a troca de ferramentas nas máquinas, conhecido como Job Sequencing and Tool Switching Problem (SSP). É proposto um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para a minimização da data de conclusão de todos os trabalhos do problema de sequenciação de trabalhos com tempos de processamento e ferramentas específicas num conjunto de máquinas idênticas e em paralelo. No modelo PLIM são considerados os tempos de inicialização das máquinas, montagem e desmontagem das ferramentas. O modelo foi implementado num open solver e validado com instâncias reais. As experiências computacionais efectuadas em dois conjuntos de dados mostram que o modelo proposto permite criar planos de produção compactos que minimizam o makespan.

Palavras-Chave: Escalonamento, troca de ferramentas, máquinas paralelas, SSP, programação linear inteira mista, otimização

1. Introdução

Com o avanço tecnológico, máquinas capazes de executar múltiplas tarefas substituíram a necessidade de diversos equipamentos específicos. Estas máquinas que realizam operações como torneamento e fresagem mediante a troca de ferramentas são componentes fundamentais dos sistemas produção ou *Flexible Manufacturing System* (FMS), proporcionando versatilidade e flexibilidade à produção em grande escala (Cura, 2023). Um FMS é altamente automatizado e equipado com máquinas multifuncionais, muitas vezes dotadas de um carrossel para armazenamento de ferramentas (Beezão *et al*., 2017). Contudo, a capacidade limitada desses carrosséis e a necessidade frequente de trocas de ferramentas para atender a uma variedade de tarefas e produtos tornam esse processo um desafio, sendo um dos mais demorados na produção e, portanto, crucial para otimização (Cura, 2023).

Este estudo insere-se no contexto do *Job Sequencing and Tool Switching Problem* (SSP), que envolve o escalonamento de trabalhos considerando a troca de ferramentas nas máquinas. O SSP, normalmente associado à implementação de um FMS, é aplicado em diversas indústrias como a metalúrgica, química e na gestão da memória de computadores. A abordagem inicial do problema mais básico, envolvendo uma única máquina e considera tempos de troca uniformes, foi proposta por Tang e Denardo em 1988. Nesse artigo, os autores dividiram o problema em duas componentes distintas: o escalonamento dos trabalhos e a troca de ferramentas (Tang & Denardo, 1988). Desde então, o SSP tem sido amplamente estudado, com diversos algoritmos exatos e heurísticas propostos para a sua resolução.

Laporte *et al.* (2002) introduziram algoritmos branch-and-cut e branch-and-bound para o SSP, comparando duas formulações de programação linear inteira. Ghiani *et al*. (2007) desenvolveram um algoritmo branch-and-bound para o problema de carregamento de ferramentas com uma nova formulação simétrica, no âmbito de um centro de maquinação com controlo numérico. Em 2010, Ghiani *et al.* formularam o SSP como um problema não linear de ciclo hamiltoniano de menor custo, propondo um algoritmo branch-and-cut e comparando-o com procedimentos exatos anteriores.

P. Burger *et al.* (2015) abordaram um problema de escalonamento na indústria de embalagens, considerando trabalhos de impressão multicoloridos com tempos de configuração dependentes da sequência. Beezão *et al.* (2017) propuseram formulações matemáticas e uma abordagem meta-heurística para escalonar máquinas paralelas idênticas com restrições de ferramentas, combinando elementos do escalonamento de máquinas paralelas. Paiva *et al.* (2017) introduziram uma metodologia utilizando representações gráficas, métodos heurísticos e técnicas de pesquisa local para minimizar o número de trocas de ferramentas no SSP.

Ahmadi *et al.* (2018) discutiram a redução do SSP ao Problema de Sequenciação de Tarefas (JSeP), introduzindo um método híbrido combinando 2-TSP (*Traveling Salesman Problem of Second Order*) e um novo algoritmo genético. Calmels (2019) forneceu uma revisão abrangente da literatura do SSP, classificando e analisando tendências de estudos. Silva *et al.* (2020) propuseram um novo modelo de fluxo de múltiplas mercadorias para o SSP considerando um limite inferior na relaxação linear baseado no número de ferramentas e na capacidade da máquina. Calmels (2022) apresentou um procedimento iterativo de pesquisa local para o SSP com máquinas paralelas não idênticas, considerando vários objetivos, tais como a minimização do tempo de fluxo total, do *makepan* e do número total de trocas de ferramentas.

Apesar do avanço dos algoritmos e metodologias, muitos modelos não capturam completamente a realidade, assumindo que os tempos de troca são independentes da sequência dos trabalhos e geralmente consideram apenas uma máquina flexível (Calmels, 2019). Neste contexto, Mara et al. (2023) compararam um SSP básico, com tempos de troca uniformes, a um SSP que considera a sequência para os tempos de mudança de ferramentas, revelando que as soluções obtidas são significativamente diferentes, evidenciando a necessidade de estudos que incorporem características reais no desenvolvimento dos modelos para colmatar essas lacunas.

Com estes desenvolvimentos em mente, este artigo propõe um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) para o escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas, para a minimização da data de conclusão dos trabalhos tendo como referência um problema real da indústria metalomecânica. O modelo considera múltiplas máquinas flexíveis com tempos de troca de ferramentas não uniformes, tempos de inicialização das máquinas, *setups* entre trabalhos, montagem e desmontagem de ferramentas no carrossel e alteração do diâmetro da haste, tornando assim o problema mais complexo e representativo dos sistemas de produção reais.

O resto do artigo está organizado da seguinte forma: na secção 2 é descrito o problema e apresentada a formulação matemática, na secção 3 são apresentados os resultados das experiências computacionais. Por fim, na secção 4, são tecidas algumas conclusões e trabalhos futuros.

2. Descrição do problema

No SSP, o objetivo é realizar uma série de trabalhos $J = \{1, \dots, n\}$ num sistema composto por um conjunto de máquinas $M = \{1, \dots p\}$ paralelas idênticas, de forma a minimizar a data de conclusão de todos os trabalhos. Cada máquina pode processar todos os trabalhos, mas cada trabalho deve ser atribuído apenas a uma máquina. Não existem relações de precedência entre os trabalhos e as interrupções não são permitidas. Os tempos de processamento dos trabalhos P_j $(j \in J)$ e as ferramentas necessárias $T = \{1, \dots, l\}$ são iguais em todas as máquinas, uma vez que estas são idênticas. Os carrosséis de ferramentas das máquinas têm um limite de capacidade de ferramentas C. O tempo necessário para trocar ferramentas $\bar{t}$ é o mesmo para todas as máquinas e para todas as ferramentas, não sendo dependente da ordem dos trabalhos. O tempo total de trocas em cada máquina resulta da soma das montagens e desmontagens de ferramentas multiplicada por $\bar{t}$. O diâmetro das peças a produzir D_j $(j \in J)$ também tem impacto no tempo de processamento, uma vez que uma alteração de diâmetro implica uma pausa de tempo S para efetuar as modificações necessárias à máquina. O tempo de processamento de cada trabalho diz respeito à produção de um determinado número de peças, e o tempo de fabrico por peça U_j $(j \in J)$ também é importante neste modelo. O *setup* entre trabalhos é realizado sempre que a categoria do produto E_j $(j \in J)$ muda, e este tempo de *setup* é igual ao produto entre um parâmetro K (neste caso de estudo, $K = 2$) e o tempo de fabrico por peça do trabalho que se irá iniciar. Assim, o tempo de conclusão de cada máquina Δ_m $(m \in M)$ é igual à soma dos tempos de processamento dos trabalhos atribuídos a essa máquina, dos tempos de *setup* entre trabalhos, das mudanças de diâmetro e das montagens e desmontagens de ferramentas. O *makespan* Δ é o maior dos *makespan* de todas as máquinas. Por fim, J_t é o conjunto de trabalhos j $(j \in J)$ que utilizam a ferramenta t $(t \in T)$.

O modelo apresentado neste artigo é inspirado no trabalho de Beezão et al. (2017). As variáveis de decisão do problema estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis de decisão do problema

VARIÁVEIS DE DECISÃO	DESCRIÇÃO
W_{jkm}	$\begin{cases}1, \text{se o trabalho } j \text{ for realizado na posição } k \text{ da máquina } m\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
Y_{tkm}	$\begin{cases}1, \text{se a ferramenta } t \text{ estiver presente na máquina } n \text{ durante a realização do trabalho na posição } k\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
Z_{tkm}	$\begin{cases}1, \text{se a ferramenta } t \text{ for inserida na máquina } n \text{ durante a realização do trabalho na posição } k\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
X_{tkm}	$\begin{cases}1, \text{se a ferramenta } t \text{ for retirada na máquina } n \text{ durante a realização do trabalho na posição } k\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
H_{jkm}	$\begin{cases}1, \text{se houver alteração de diâmetro antes da realização do trabalho } j \text{ na posição } k \text{ da máquina } m\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
C_{jkm}	$\begin{cases}1, \text{se houver mudança de categoria de trabalho antes da realização do trabalho } j \text{ na posição } k \text{ da máquina } m\\0, \text{caso contrário}\end{cases}$
Δ_m	Tempo de conclusão da máquina m $(m \in M)$
Δ	*makespan*

A formulação matemática do problema descrito traduz-se num modelo de Programação Linear Inteiro Misto (PLIM), conforme apresentado a seguir.

FO: Minimizar Δ (1)

Sujeito a

$\sum_{j=1}^{n} W_{jkm} \leq 1 \quad k \in J, m \in M$ (2)

$\sum_{m=1}^{p} \sum_{k=1}^{n} W_{jkm} = 1 \quad j \in J$ (3)

$\sum_{j=1}^{n} W_{jkm} \leq \sum_{j=1}^{n} W_{j(k-1)m} \quad k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (4)

$\sum_{j \in J_t} W_{jkm} = Y_{tkm} \quad t \in T, k \in J, m \in M$ (5)

$\sum_{t=1}^{l} Y_{tkm} \leq C \quad k \in J, m \in M$ (6)

$Y_{tkm} - Y_{t(k-1)m} \leq Z_{tkm} \quad t \in T, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (7)

$Z_{tkm} \leq Y_{tkm} \quad t \in T, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (8)

$Y_{t1m} = Z_{t1m} \quad t \in T, m \in M$ (9)

$Y_{t(k-1)m} - Y_{tkm} \leq X_{tkm} \quad t \in T, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (10)

$X_{tkm} \leq Y_{t(k-1)m} \quad t \in T, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (11)

$\begin{cases} W_{jkm} + W_{j'(k-1)m} - 1 \leq H_{jkm} & se\ D_j \neq D_{j'} \\ H_{jkm} \leq W_{jkm} \end{cases} \quad j, j' \in J, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (12)

$\begin{cases} W_{jkm} + W_{j'(k-1)m} - 1 \leq C_{jkm} & se\ E_j \neq E_{j'} \\ C_{jkm} \leq W_{jkm} \end{cases} \quad j, j' \in J, k \in J\backslash\{1\}, m \in M$ (13)

$\sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} P_j W_{jkm} + \bar{t}(\sum_{k=1}^{n} \sum_{t=1}^{l} Z_{tkm} + \sum_{k=2}^{n} \sum_{t=1}^{l} X_{tkm}) + S \sum_{k=2}^{n} \sum_{j=1}^{n} H_{jkm} + \sum_{k=2}^{n} \sum_{j=1}^{n} KU_j C_{jkm} \leq \Delta_m$ (14)

$\Delta_m \leq \Delta \quad m \in M$ (15)

$W_{jkm} \in \{0, 1\} \quad j \in J, k \in J, m \in M$ (16)

$Y_{tkm} \in \{0, 1\} \quad t \in T, k \in J, m \in M$ (17)

$Z_{tkm} \in \{0, 1\} \quad t \in T, k \in J, m \in M$ (18)

$X_{tkm} \in \{0, 1\} \quad t \in T, k \in J, m \in M$ (19)

$H_{jkm} \in \{0, 1\} \quad j \in J, k \in J, m \in M$ (20)

$C_{jkm} \in \{0, 1\} \quad j \in J, k \in J, m \in M$ (21)

$\Delta_m \geq 0, \Delta \geq 0 \quad m \in M$ (22)

A função objetivo do modelo (1) minimiza o *makespan*. As restrições (2) e (3) estão relacionadas com a atribuição dos trabalhos às máquinas, enquanto a restrição (4) assegura que um trabalho só pode ser executado pela máquina m na posição k depois do trabalho $(k-1)$ dessa máquina ter terminado. As restrições (5) e (6) estão ambas relacionadas com as ferramentas: a primeira impõe que todas as ferramentas necessárias para um trabalho estão disponíveis aquando da sua realização e a segunda limita a capacidade do carrossel de ferramentas de cada máquina. A inserção das ferramentas na máquina é gerida pelas restrições (7), (8) e (9). A restrição (9) é mais específica, dizendo respeito apenas ao que é necessário colocar na máquina antes do primeiro trabalho. As restrições (10) e (11) são semelhantes às anteriores mas abordam antes a remoção das ferramentas. A restrição (12) está relacionada com a troca de diâmetro e controla os tempos utilizados para as alterações necessárias na máquina. Já a restrição (13) reflete os tempos de *setup* entre trabalhos sempre que a categoria do material a produzir altera. A restrição (14) calcula o tempo de conclusão de cada máquina e o *makespan* é definido pela restrição (15). As restrições (16) – (22) denotam o tipo de variáveis, ou seja, os requisitos de integridade destas variáveis.

O modelo proposto apresenta várias melhorias em relação ao modelo de referência, Beezão et al. (2017). As principais contribuições são:

1. Reestruturação das restrições de inserção de ferramentas: O modelo melhora a precisão na alocação de ferramentas, corrigindo uma limitação na restrição original (restrição (5)) e adição da restrição (8). Esta restrição garante que uma ferramenta seja considerada necessária se houver um trabalho que realmente a utilize, evitando alocações incorretas.

2. Melhoria das equações de remoção de Ferramentas: Foram incluidas restrições para a remoção de ferramentas, restrições (10) e (11), o que não era considerado no modelo de referência. Estas restrições asseguram que uma ferramenta só seja removida quando não for mais necessária para os trabalhos subsequentes, refletindo mais fielmente o processo produtivo.

3. Melhoria das configurações Iniciais das Máquinas: Considerando que, no início de cada semana de trabalho, os carrosséis das máquinas estão vazios, foi criada a restrição (9), que se aplica exclusivamente à primeira posição da sequência de cada máquina. Esta restrição garante as configurações iniciais corretas para o início da produção.

4. Introdução da modelação de Setups Sequenciais: O modelo introduz restrições específicas para setups dependentes da sequência de trabalhos, como a mudança de diâmetro da haste (restrição (12)) e ajustes de categoria de produto (restrição (13)). Estas restrições garantem que o tempo de setup seja corretamente contabilizado, tanto para mudanças fixas quanto para aquelas proporcionais ao tempo de produção unitário do produto.

Estas melhorias tornam o modelo mais adequado para aplicação em ambientes de produção real.

3. Resultados computacionais

De forma a testar o modelo PLIM proposto, foram geradas duas instâncias de teste com tamanhos diferentes. A primeira, mais pequena, conta com 3 ordens de produção (trabalhos), 4 ferramentas e 2 máquinas disponíveis. Já a outra instância, com uma dimensão maior, tem 14 ordens, 29 ferramentas e 4 máquinas. Ambas as instâncias de teste foram fornecidas por uma empresa do ramo da metalúrgica e, por isso, retratam dados reais. O modelo foi implementado em Python e resolvido com o suporte do CPLEX.

Iniciando pela instância mais pequena, os dados fornecidos foram os que se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados da Instância 1

ID DA ORDEM	TEMPO POR PEÇA (H)	QUANTIDADE DA ORDEM	FERRAMENTA 1	FERRAMENTA 2	FERRAMENTA 3	DIÂMETRO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
1	0,14	107	TOOL.1	TOOL.2	TOOL.3	4	1
2	0,1	15	TOOL.1	TOOL.3	0	5	2
3	0,15	172	TOOL.4	TOOL.1	TOOL.2	4	3

Para além disso, foi indicado que existem duas máquinas paralelas preparadas para realizar estes trabalhos. Em relação a tempos, ficou estipulado o tempo de troca de ferramentas como 0.06 horas (tanto para retirar, como para inserir), o tempo de configuração do diâmetro é de aproximadamente 0.41 horas e o tempo de *setup* entre trabalhos é igual a K (K = 2, neste caso de estudo) a multiplicar pelo tempo por peça do trabalho a iniciar. O tempo de processamento de cada trabalho calcula-se multiplicando o tempo por peça em horas, pela quantidade da ordem de produção. A capacidade do carrossel é de 3 ferramentas para a instância pequena e de 6 ferramentas na instância maior.

Executando o algoritmo com o modelo implementado para este problema, o resultado foi um *makespa*n de 26.16 horas. O programa demorou apenas 0.05 segundos a encontrar a solução, com um GAP de 0.46%.

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
1	1	3	25,8	3	0	0,18	0	0	25,98	**26,16**
				0	3	0,18			0,18	

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
2	1	1	14,98	3	0	0,18	0	0	15,16	17,45
2	2	2	1,5	0	1	0,06	0,41	0,2	2,17	
					2	0,12			0,12	

Figura 1 – Resultados da Instância 1

Na figura 1, é possível observar todas as componentes do cálculo do *makespan* de cada máquina e a negrito o valor mais elevado que corresponde, assim, ao *makespan* do sistema e ao valor da função objetivo. Já na Figura 2, é visível um gráfico que indica a ordem em que os trabalhos são realizados em cada máquina. A Figura 3 mostra a utilização dos vários tipos de ferramentas em cada posição. É importante mencionar que para estas instâncias foi considerado que o número de cópias de cada ferramenta era ilimitado e, por isso, é possível um dado tipo de ferramenta ser utilizado por várias máquinas em simultâneo.

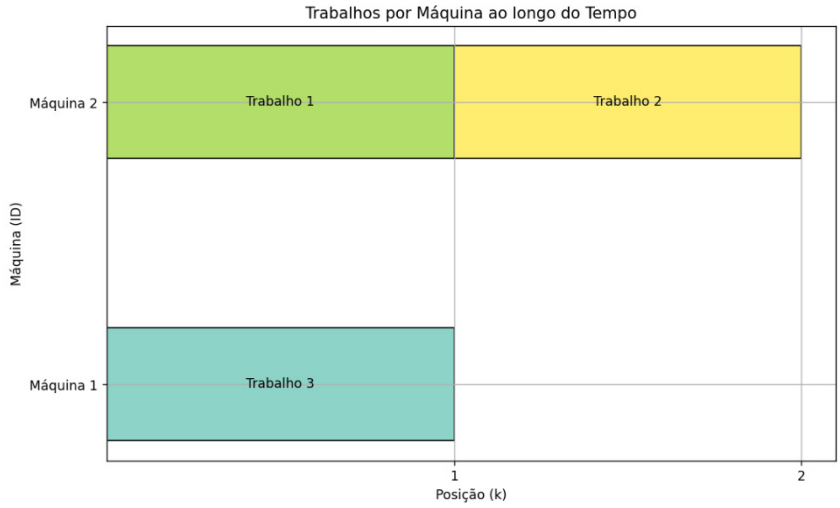


Figura 2 – Gráfico com a sequência dos trabalhos por máquina da Instância 1

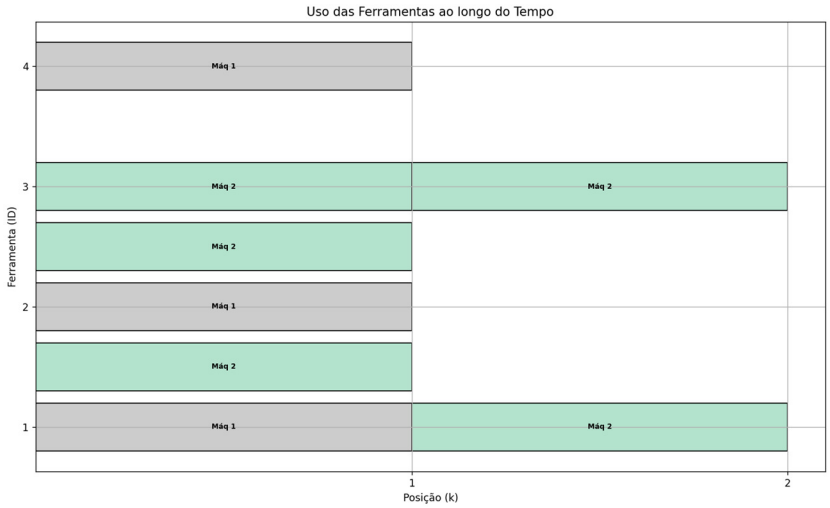


Figura 3 – Distribuição das ferramentas por posição nas máquinas da Instância 1

Avançando para a instância maior, os dados apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados da instância 2

ID da ordem	Tempo por peça (h)	Quant. da ordem	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 3	Ferramenta 4	Ferramenta 5	Diâmetro	Classe do Material
1	0,18	22	TOOL.5	TOOL.1	TOOL.8	TOOL.9	TOOL.10	7	1
2	0,14	107	TOOL.1	TOOL.2	TOOL.3	0	0	4	2
3	0,1	15	TOOL.1	TOOL.3	0	0	0	5	3
4	0,15	172	TOOL.4	TOOL.1	TOOL.2	0	0	5	4
5	0,15	107	TOOL.4	TOOL.1	TOOL.2	0	0	4	4
6	0,16	12	TOOL.1	TOOL.6	TOOL.7	0	0	4	5
7	0,16	8	TOOL.1	TOOL.6	TOOL.7	0	0	5	5
8	0,22	7	TOOL.22	TOOL.23	TOOL.24	TOOL.25	0	4	6
9	0,14	7	TOOL.23	TOOL.25	TOOL.11	TOOL.13	0	4	7
10	0,12	108	TOOL.11	TOOL.12	TOOL.13	TOOL.26	0	4	8
11	0,11	22	TOOL.20	TOOL.3	TOOL.27	TOOL.28	0	5	9
12	0,11	22	TOOL.20	TOOL.5	TOOL.3	TOOL.21	0	4	10
13	0,14	54	TOOL.14	TOOL.17	TOOL.18	TOOL.15	0	7	11
14	0,12	12	TOOL.8	TOOL.16	TOOL.19	TOOL.19	0	7	12

Foram assumidos os mesmos pressupostos que na instância anterior. Neste caso, o resultado foi um *makespan* de 26.55 horas, com um GAP de apenas 1.47%. Para se encontrar esta melhor solução, o programa correu durante cerca de 2 minutos e 20 segundos. Da mesma forma, o gráfico da Figura 4 representa a ordem com que os trabalhos foram realizados em cada máquina e o gráfico da Figura 5 demonstra a utilização das ferramentas.

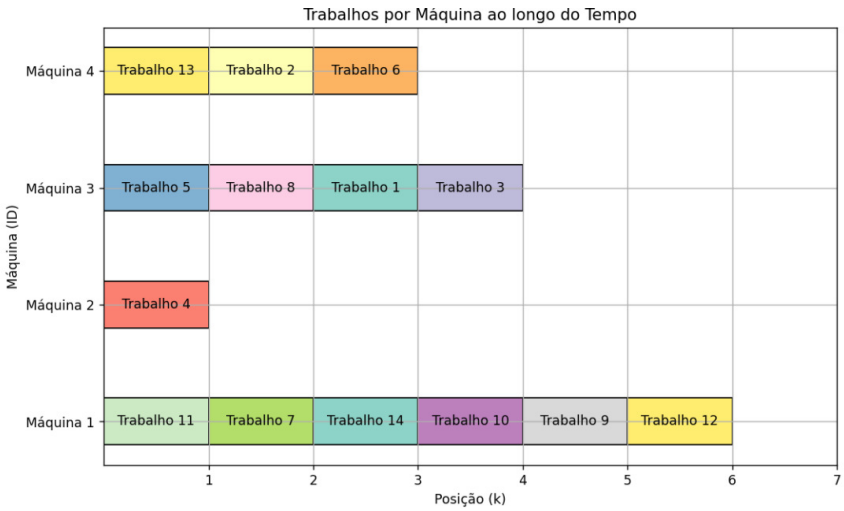


Figura 4 – Gráfico com a sequência dos trabalhos por máquina da Instância 2

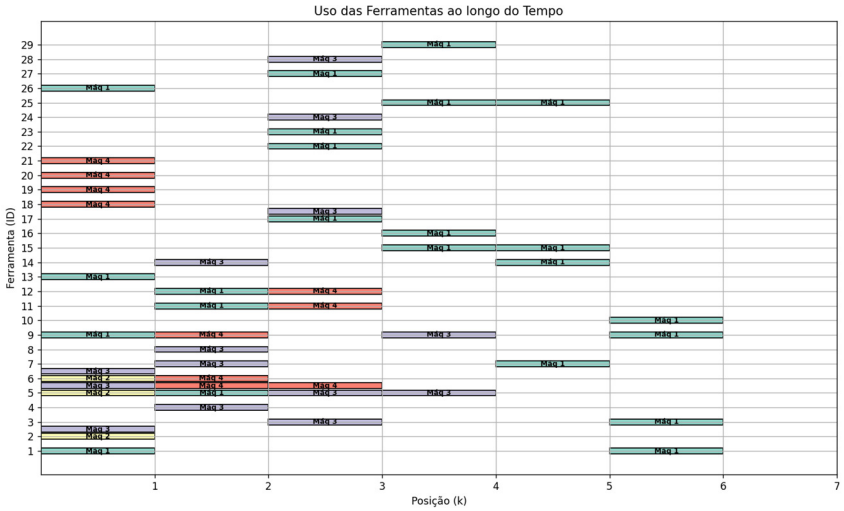


Figura 5 - Distribuição das ferramentas por posição nas máquinas da Instância 2

Como é possível ver pela observação do gráfico da Figura 6, os tempos de conclusão de cada máquina foram muito semelhantes entre si, todos a rondar as 26 horas. O trabalho 4 devido ao elevado tempo que demora a ser realizado, teve de ser o único atribuído à máquina 2.

Analisando mais detalhadamente a máquina 4, por exemplo, é possível verificar em que instantes do processo ocorreram trocas de ferramentas e/ou diâmetro. Em primeiro lugar, foi realizada a ordem de produção 13, que necessita de 4 ferramentas. Por isso, o número de variáveis Z's (inserção de ferramentas) é igual a 4. Não há remoção de ferramentas (todas as variáveis $X = 0$) uma vez que se considera que o carrossel da máquina está vazio no início do processo. Assim, o tempo de troca é igual ao número de variáveis Z's a multiplicar pelo tempo estipulado de 0.06 horas por ferramenta (4x0.06 = 0.24 h). Em relação ao diâmetro e ao setup entre trabalhos, estes tempos não são considerados no primeiro instante de cada máquina, pois é estipulado o pressuposto que a máquina está pronta a iniciar a produção. Por conseguinte, o tempo decorrente deste trabalho (makespan) é igual à soma do tempo de processamento da ordem com o tempo de troca de ferramentas (7.56+0.24 = 7.8 h). O segundo trabalho a ser realizado na máquina 4 é o 2 cujo tempo de processamento é de 14.98 horas. Em relação às ferramentas, estas são todas diferentes das necessárias no trabalho anterior e, por isso, é necessário retirar as 4 ferramentas (quatro variáveis $X = 1$) e colocar as 3 utilizadas (três variáveis $Z = 1$) no carrossel. Desta forma, o tempo de trocas já reflete as duas componentes de inserção e remoção de ferramentas ([3+4]x0.06 = 0.42 h). O diâmetro foi alterado de 7 mm no trabalho anterior para 4 mm no atual, resultando na adição de 0,41 horas ao tempo de configuração. Além disso, a classificação dos trabalhos mudou de 11 para 2. Esta alteração reflete-se num tempo de setup igual ao produto entre a constante $(K = 2)$ e o tempo de produção unitário do trabalho (2x0.14 = 0.28 h). Somando todas estas componentes, resulta num makespan de 16.09 horas (14.98+0.42+0.41+0.28 = 16.09 h). O último trabalho a ser executado nesta máquina é o 6, com um tempo de processamento de 1.92 horas. Em relação às

ferramentas, uma delas é comum (TOOL.1) e por isso, só é necessário retirar duas (duas variáveis $X = 1$) e inserir as duas requeridas para a realização daquele trabalho (duas variáveis $Z = 1$). O tempo de trocas de ferramentas é então igual a 0.24 horas ([2+2]x0.06 = 0.24 h). O diâmetro mantém-se 4, portanto não é adicionado nenhum tempo de configuração. Em relação ao setup, como as classificações são diferentes (classificação 2 no trabalho 2 e classificação 5 no trabalho 6), é adicionado um tempo de 0.32 horas (2x0.16 = 0.32 h). Somando todos os tempos, o makespan do trabalho 6 de 2.48 horas (1.92+0.24+0+0.32 =2.48 h). Na última posição, apesar de não se realizar nenhuma ordem de produção, é necessário retirar as 3 ferramentas da máquina (três variáveis $X = 1$) e por isso existe uma componente temporal de mais 0.18 horas (3x0.06 = 0.18 h). Para obter o makespan final da máquina é necessário juntar as datas de conclusão de todos os trabalhos mais esta componente extra referida, resultando em 26.55 horas (7.8+16.09+2.48+0.18 = 26.55 h).

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
1	1	11	2,42	4	0	0,24	0	0	2,66	26,14
1	2	7	1,28	3	4	0,42	0	0,32	2,02	
1	3	14	1,44	4	3	0,42	0,41	0,24	2,51	
1	4	10	12,96	4	4	0,48	0,41	0,24	14,09	
1	5	9	0,98	2	2	0,24	0	0,28	1,5	
1	6	12	2,42	4	4	0,48	0	0,22	3,12	
				0	4	0,24			0,24	

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
2	1	4	25,8	3	0	0,18	0	0	25,98	26,16
				0	3	0,18			0,18	

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
3	1	5	16,05	3	0	0,18	0	0	16,23	26,43
3	2	8	1,54	4	3	0,42	0	0,44	2,4	
3	3	1	3,96	5	4	0,54	0,41	0,36	5,27	
3	4	3	1,5	1	4	0,3	0,41	0,2	2,41	
				0	2	0,12			0,12	

Máquina	Posição	Ordem	Tempo Processamento	Nr.Z	Nr.X	Tempo Trocas	Diâmetro	Setup	Tempo Total	Makespan
4	1	13	7,56	4	0	0,24	0	0	7,8	**26,55**
4	2	2	14,98	3	4	0,42	0,41	0,28	16,09	
4	3	6	1,92	2	2	0,24	0	0,32	2,48	
				0	3	0,18			0,18	

Figura 6 - Resultados da Instância 2

4. Conclusão

O problema do escalonamento de trabalhos em máquinas paralelas com troca de ferramentas foi modelado e resolvido no presente artigo no contexto de um ambiente real de produção. Foi proposto um modelo de programação linear inteira mista que incorpora as decisões de atribuição de trabalhos, respetivo escalonamento e troca de ferramentas. O modelo inclui várias restrições adicionais que refletem características de problemas reais, as quais não são consideradas na literatura. O modelo foi implementado num open solver e testado em dois conjuntos de dados, envolvendo até 14 trabalhos, 29 ferramentas e 4 máquinas. As experiências computacionais realizadas demonstram admissibilidade das soluções.

Contudo, não foi possível obter soluções, em tempo útil, para instâncias de maiores dimensões. Assim, pretende-se num trabalho futuro implementar uma meta-heurística para resolver este modelo em problemas de maior dimensão, visando melhorar a eficiência e a aplicabilidade do método proposto.

Referências

Ahmadi, E., Goldengorin, B., Süer, G. A., & Mosadegh, H. (2018). A hybrid method of 2-TSP and novel learning-based GA for job sequencing and tool switching problem. *Applied Soft Computing*, *65*, 214-229.

Beezão, A. C., Cordeau, J. F., Laporte, G., & Yanasse, H. H. (2017). Scheduling identical parallel machines with tooling constraints. European journal of operational research, 257(3), 834-844.

Burger, A. P., Jacobs, C. G., van Vuuren, J. H., & Visagie, S. E. (2015). Scheduling multi-colour print jobs with sequence-dependent setup times. *Journal of Scheduling*, *18*, 131-145.

Calmels, D. (2019). The job sequencing and tool switching problem: state-of-the-art literature review, classification, and trends. International Journal of Production Research, 57(15-16), 5005-5025.

Calmels, D. (2022). An iterated local search procedure for the job sequencing and tool switching problem with non-identical parallel machines. *European Journal of Operational Research*, *297*(1), 66-85.

Christopher S. Tang, Eric V. Denardo, (1988) Models Arising from a Flexible Manufacturing Machine, Part I: Minimization of the Number of Tool Switches. Operations Research 36(5), 767-777.

Cura, T. (2023). Hybridizing local searching with genetic algorithms for the job sequencing and tool switching problem with non-identical parallel machines. Expert Systems with Applications, 223, 119908.

da Silva, T. T., Chaves, A. A., & Yanasse, H. H. (2021). A new multicommodity flow model for the job sequencing and tool switching problem. *International Journal of Production Research*, *59*(12), 3617-3632.

Ghiani, G., Grieco, A., & Guerriero, E. (2007). An exact solution to the TLP problem in an NC machine. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *23*(6), 645-649.

Ghiani, G., Grieco, A., & Guerriero, E. (2010). Solving the job sequencing and tool switching problem as a nonlinear least cost hamiltonian cycle problem. *Networks: An International Journal*, *55*(4), 379-385.

Laporte, G., González, J. J. S., & Semet, F. (2002, November). Exact algorithms for the job sequencing and tool switching problem. In IV ALIO» EURO Workshop on Applied Combinatorial Optimization (p. 71).

Mara, S. T. W., Sutoyo, E., Norcahyo, R., & Rifai, A. P. (2023). The job sequencing and tool switching problem with sequence-dependent set-up time. Journal of King Saud University Engineering Sciences, 35(1), 53-61.

Paiva, G. S., & Carvalho, M. A. M. (2017). Improved heuristic algorithms for the job sequencing and tool switching problem. *Computers & Operations Research*, *88*, 208-219.

ID29
Uma meta-heurística para o escalonamento num sistema *Job-Shop* flexível com dimensionamento de lotes

R. F. M. Correia ([1]), A. Mota ([2]), L.M. Afonso ([2])
1190989@isep.ipp.pt, atm@isep.ipp.pt, lma@isep.ipp.pt

([1]) CPLOT – Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
([2]) CPLOT - Departamento de Matemática, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Resumo

O escalonamento *Job-Shop* flexível (JSF) surge em diversas indústrias. Este tipo de problema apresenta uma complexidade adicional relativamente aos problemas *Job-Shop* (PJS). Esta dificuldade está relacionada ao facto de que não apenas as operações devem ser sequenciadas nas máquinas como no PJS, mas as operações devem ser atribuídas às máquinas. Uma abordagem para resolver este problema consiste na divisão dos trabalhos em sublotes, permitindo uma alocação mais eficiente dos recursos e uma maior adaptabilidade às variações na procura. A divisão em sublotes não só facilita a otimização dos tempos de produção, mas também melhora a utilização dos equipamentos e reduz os custos operacionais. Este artigo estuda o problema de escalonamento JSF baseado na divisão de sublotes. Inicialmente, é descrito um modelo de programação linear inteira mista para a minimização do tempo de conclusão de todos os trabalhos. Um algoritmo genético híbrido é proposto, incluindo a articulação com um algoritmo de pesquisa local para determinar o número e tamanho dos sublotes de modo mais eficiente. A metodologia considerada foi aplicada a várias instâncias de referência e em contexto industrial, revelando resultados promissores.

Palavras-Chave: *Job-Shop* flexível, dimensionamento dos lotes, programação linear inteira mista, algoritmo genético híbrido, algoritmo de pesquisa local

1. Introdução

Nas últimas décadas, a competitividade tem estimulado muitas empresas a aumentarem a sua gama de produtos para poderem satisfazer as exigências dos clientes. A produção em oficinas de fabrico (*job shop*) emergiu neste contexto como uma das estratégias mais usadas para responder a esse desafio. A manufatura *job shop* caracteriza-se pela fabricação de lotes de produtos, onde cada lote segue uma rota específica e única através do processo produtivo. A manufatura flexível em oficina de fabrico permite que várias máquinas realizem a mesma operação, tornando as rotas de produção mais adaptáveis. Essa flexibilidade traduz-se geralmente numa redução dos tempos de conclusão dos trabalhos. Contudo, o problema de escalonamento de trabalhos torna-se significativamente mais complexo em comparação com os problemas tradicionais em *job shop* (JS).

O *job splitting* é uma técnica utilizada em ambientes de produção flexíveis consistindo na divisão de lotes em partes menores que assim podem ser processadas em paralelo ou intercaladas em diferentes máquinas ao longo do processo produtivo. Esta abordagem permite aumentar a flexibilidade, melhorar a eficiência do uso das máquinas e reduzir os tempos de inatividade.
Este estudo aborda o escalonamento *Job Shop* flexível (JSF) com *job splitting*. A literatura sobre este tema tem sido amplamente explorada. No artigo de Chaudhry and Khan (2016) é realizada uma análise detalhada das técnicas usadas desde 1990 para resolver este problema, sendo as meta-heurísticas as mais utilizadas. Bai et al. (2009) propuseram um algoritmo de Otimização de Colónia de Partículas (OCP) melhorado para o escalonamento JSF com divisão de lotes, demonstrando a sua eficiência através de simulações. Yicong (2011) propôs um algoritmo de escalonamento de divisão de lotes de tamanho flexível multi-objetivo baseado no algoritmo OCP, visando otimizar o *makespan*, a penalização por atraso, o custo de fabrico, a contagem de lotes e a carga total de trabalho. Xu et al. (2013) introduziram um esquema de codificação cromossomática em dois níveis para JSF com divisão de lotes e restrições de capacidade. Além disso, apresentaram um algoritmo híbrido de evolução diferencial discreta para equilibrar a pesquisa global e a exploração local. Li (2017) desenvolveu um modelo flexível de escalonamento JS com divisão em lotes para aumentar a eficiência energética, considerando planos de processos alternativos.

Zhang et al. (2020) propuseram um algoritmo de otimização de aves migratórias para o problema de escalonamento de divisão de lotes de tamanhos variados, para reduzir o *makespan*. Yan et al. (2020) focaram-se na minimização do *makespan*, dividindo os trabalhos em sublotes e configurações variáveis. Abderrabi et al. (2021) estudaram um caso real de escalonamento JSF com tempo de configuração dependente da sequência e divisão de tarefas em contexto de alimentação hospitalar. Li et al. (2022) usaram um algoritmo de colónia de abelhas artificiais em JSF com divisão de lotes, enquanto, Tutumlu et al. (2023) apresentaram um modelo MIP e um algoritmo genético híbrido para o escalonamento JSP com divisão de trabalhos.
Na literatura é possível verificar o crescente interesse no desenvolvimento de algoritmos e estratégias inovadoras para resolver problemas complexos de escalonamento JSF, com foco na melhoria da eficiência, na minimização dos tempos de conclusão e no equilíbrio da utilização de recursos. Este artigo tem como objetivo estudar uma meta-heurística para o problema JSF com divisão de lotes. Inicialmente, o problema é descrito na secção 2 através de um modelo de programação linear inteira mista (PLIM), para a minimização do tempo de conclusão dos trabalhos, onde o número e o tamanho dos sublotes não são predefinidos. Na secção 3, aborda-se uma meta-heurística traduzida por um Algoritmo Genético Híbrido (AGH), para gerar soluções admissíveis em tempo útil para problemas de grande dimensão. Este AGH integra um Algoritmo de Pesquisa Local (APL) para otimizar o tamanho dos sublotes.

O desempenho do AGH é avaliado através de diversas experiências computacionais. Na secção 4.1 detalha-se a descrição e os resultados de uma instância de teste. Na secção 4.2 analisam-se os tempos computacionais em função da variação no número de operações e máquinas nas instâncias de teste. Na secção 4.3 examina-se o desempenho do AGH em instâncias de um caso real, incluindo uma análise dos tempos de CPU para diferentes dimensões. Finalmente, a secção 5 apresenta as conclusões do estudo.

2. Descrição do problema e modelo matemático

O escalonamento JSF é um problema de otimização complexo implementado em muitos sistemas de produção. Neste tipo de ambiente industrial cada operação não é processada por uma máquina pré-definida, mas sim atribuída a uma máquina de entre um conjunto de máquinas possíveis. Essas máquinas podem não ser idênticas, podendo implicar tempos de processamento diferentes dependendo da máquina escolhida. Desta forma, o problema de escalonamento JSF envolve duas etapas: atribuição de uma máquina de entre um conjunto de máquinas possíveis para processar uma determinada operação; (ii) sequenciação das operações para cada máquina. A flexibilidade permite a divisão da quantidade de produção do trabalho pelas máquinas disponíveis, reduzindo os gargalos (constrangimentos) na cadeia de produção. No problema em estudo, a divisão do trabalho é realizada sempre que existe mais do que uma máquina capaz de realizar a mesma operação, sendo a carga dividida, por essas máquinas, em sublotes com diferentes tamanhos.

O modelo de otimização do problema é baseado no modelo proposto por Tutumlu e Saraç, 2023. O modelo assenta sobre os seguintes pressupostos: uma máquina apenas pode processar um trabalho de cada vez; todos os tempos de processamento e setup são determinísticos; nas operações em que existe mais do que uma máquina para realizar a mesma operação, o trabalho pode ser dividido pelas diversas máquinas, com tamanhos de lote diferentes; para cada operação é necessário um tempo de setup, sendo este tempo diferente para cada máquina; no caso de existir divisão de um trabalho, é considerado um tempo de setup individual para cada máquina utilizada; as rotas dos trabalhos são fornecidas; cada máquina tem um número mínimo de peças a produzir por repetição e cada máquina realiza apenas um tipo de operação.

As Tabelas 1, 2, 3 e 4 mostram os conjuntos, índices, parâmetros e variáveis de decisão do PLIM, respetivamente.

Tabela 1 - Conjuntos do PLIM

CONJUNTO	DESCRIÇÃO
$I = \{1, \dots, n\}$	Conjunto de trabalhos
$J = \{1, \dots, t\}$	Conjunto de operações
$M = \{1, \dots, m\}$	Conjunto de máquinas
$N = \{N_1, \dots, N_n\}$	Conjunto com o número de operações por trabalho, onde N_i representa o número de total de operações do trabalho i, $i = 1, \dots, n$
$E = \{E_1, \dots, E_n\}$	Conjunto com as quantidades de produção, onde E_i indica o volume da encomenda do trabalho i, $i = 1, \dots, n$

CONJUNTO	DESCRIÇÃO
$L_k = \{1, \dots, \delta\}$	L_k é o conjunto com a sequência de operações da máquina k, $k = 1, \dots, m$, onde $\delta = \max_k \sum_{i \in I} \sum_{j \in N_i} u_{i,j,k}$
$M_j = \{\eta_1, \dots, \eta_{o_j}\}$	M_j é o conjunto representativo das máquinas do centro de trabalho que realizam a operação j, $j = 1, \dots, t$, sendo O_j o número total de máquinas disponíveis para realizar a operação j.

Tabela 2 - Índices do PLIM

ÍNDICES	DESCRIÇÃO
$i, i' \in I$	Indicam um trabalho
$j, j' \in N_i$	Indicam uma operação do trabalho i
$k, k' \in M_j$	Indicam uma máquina do centro de trabalho que realiza a operação j
$l, l' \in L_k$	Indicam uma posição de um trabalho na sequência das operações da máquina k

Tabela 3 - Parâmetros do PLIM

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
P_k	Tempo de processamento da máquina k, $k = 1, \dots, m$
S_k	Tempo de *setup* da máquina k, $k = 1, \dots, m$
$u_{i,j,k}$	$\begin{cases} 1, & \text{se a máquina } k \text{ é capaz de processar a operação } j \text{ do trabalho } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
h_i	Máximo do número mínimo de peças a produzir por repetição entre todas as máquinas dos centros de trabalho onde são realizadas as operações j do trabalho i, correspondendo ao tamanho mínimo de lote do trabalho i.
Ω	Número positivo muito grande

Tabela 4 - Variáveis de Decisão do PLIM

VARIÁVEIS DE DECISÃO	DESCRIÇÃO
$C_{i,j,k}$	Tempo de conclusão do trabalho i na operação j na máquina k
C_{max}	Data de conclusão do último trabalho (*makespan*)
$\sigma_{i,j,k}$	Tamanho do sublote do trabalho i na operação j na máquina k
$x_{i,j,k,l}$	$\begin{cases} 1, & \text{se o trabalho } i \text{ na operação } j \text{ é processado na máquina } k \text{ na posição } l \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

A formulação matemática do problema JSF é baseada no modelo proposto por Tutumlu e Saraç (2023) e é descrita a seguir.

$$\text{minimizar } f = C_{max} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in M_j} \sigma_{i,j,k} = E_i \quad \forall_{i,j \leq N_i} \quad (2)$$

$$\sigma_{i,j,k} \geq h_i x_{i,j,k,l} \quad \forall_{i,j,k,l,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{3}$$

$$\sigma_{i,j,k} \leq E_i \sum_{l\in L_k} x_{i,j,k,l} \quad \forall_{i,j,k,l,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{4}$$

$$x_{i,j,k,l} \leq u_{i,j,k} \quad \forall_{i,j,k,l,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{5}$$

$$C_{i,j,k} + \Omega * (1 - x_{i,j,k,l}) \geq \sigma_{i,j,k} P_k + S_k \quad \forall_{i,j,k,l,j=1,l=1,k\epsilon M_j} \tag{6}$$

$$C_{i,j,k} + \Omega * \left(2 - x_{i,j,k,l} - x_{i',j',k,l-1}\right) \geq C_{i\prime,j\prime,k} + \sigma_{i,j,k} P_k + S_k \quad \forall_{i,j,i',j',k,j=1,l>1,i\neq i\prime,k\epsilon M_j} \tag{7}$$

$$C_{i,j,k} + \Omega * \left(2 - x_{i,j,k,l} - x_{i,(j-1),k',l'}\right) \geq C_{i,(j-1),k'} + \sigma_{i,j,k} P_k + S_k \quad \forall_{i,j,k,l,k',l',j>1,l=1,j\leq N_i,k\epsilon M_j,k\prime\epsilon M_{j-1}} \tag{8}$$

$$C_{i,j,k} + \Omega * \left(2 - x_{i,j,k,l} - x_{i,(j-1),k',l'}\right) \geq C_{i,(j-1),k'} + \sigma_{i,j,k} P_k + S_k \quad \forall_{i,j,k,l,k',l',j>1,l>1,j\leq N_i,k\epsilon M_j,k\prime\epsilon M_{j-1}} \tag{9}$$

$$C_{i,j,k} + \Omega * \left(2 - x_{i,j,k,l} - x_{i',j',k,l-1}\right) \geq C_{i\prime,j\prime,k} + \sigma_{i,j,k} P_k + S_k \quad \forall_{i,j,k,l,i',j',l>1,j\leq N_i,k\epsilon M_j,i\neq i'} \tag{10}$$

$$l - l' \geq 1 - \Omega * \left(2 - x_{i,j,k,l} - x_{i,j',k,l'}\right) \quad \forall_{i,j,k,l,j',l',j\leq N_i,k\epsilon M_j,j\neq j',l\neq l'} \tag{11}$$

$$\sum_{i\in I} \sum_{j\in N_i} x_{i,j,k,l} - \sum_{i'\epsilon I} \sum_{j'\in N_{i'}} x_{i',j',k,l-1} \leq 0 \quad \forall_{k,l,l>1,k\epsilon M_j} \tag{12}$$

$$\sum_{l\in L_k} x_{i,j,k,l} \leq 1 \quad \forall_{i,j,k,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{13}$$

$$\sum_{i\in I} \sum_{j\in N_i} x_{i,j,k,l} \leq 1 \quad \forall_{k,l,k\epsilon M_j} \tag{14}$$

$$C_{max} \geq C_{i,j,k} \quad \forall_{i,j,k,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{15}$$

$$C_{i,j,k} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k} \tag{16}$$

$$C_{max} \geq 0 \tag{17}$$

$$x_{i,j,k,l} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j,k,l} \tag{18}$$

$$\sigma_{i,j,k} \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \forall_{i,j,k,l,j\leq N_i,k\epsilon M_j} \tag{19}$$

A equação (1) define a função objetivo, que consiste na minimização do makespan. A equação (2) garante que o trabalho i na operação j é atribuído a máquinas e que a soma dos tamanhos dos sublotes nessa operação é igual à quantidade total a produzir para o respetivo trabalho. A equação (3) permite que o tamanho dos sublotes seja maior ou igual ao tamanho mínimo $h_{i,j}$. Além disso, a restrição (4) garante que o tamanho do sublote é zero se não for atribuído o trabalho i na operação j à máquina k em análise. A equação (5) garante que as operações são atribuídas às máquinas capazes de as realizar. As equações (6) e (7) determinam o tempo de conclusão de uma operação quando esta corresponde à primeira operação de um trabalho. No caso da equação (6), a operação em estudo é a primeira a ser realizada na máquina atribuída. Por outro lado, na equação (7) a operação não é a primeira e é considerado o tempo de conclusão da operação anterior na mesma máquina. As equações (8) e (9) correspondem à situação em que a operação em análise não corresponde à primeira operação de um trabalho. No caso da equação (8), a operação é a primeira a ser realizada na máquina atribuída, pelo que é considerado o tempo de conclusão da operação anterior do mesmo trabalho realizada noutra máquina. Na equação (9), a posição da operação na máquina não é a primeira, pelo que é considerado o tempo de conclusão da operação anterior do mesmo trabalho. Na equação (10), garante-se a determinação do tempo de conclusão para as operações que não se encontram na primeira posição da máquina e por isso considera-se o tempo de conclusão da operação anterior na mesma máquina. As equações (11) e (12) garantem que as operações de um trabalho são realizadas de forma sequencial. Relativamente à equação (13), esta garante que, no máximo, cada operação de cada trabalho é atribuída a uma máquina numa dada posição. Na equação (14) é estabelecido que no máximo cada operação é atribuída a cada sequência de cada máquina. A equação (15) corresponde ao cálculo do *makespan*. As restrições (16),(17) e (19) são restrições de sinal e, por fim, a restrição (18) impõe que as variáveis de decisão $x_{i,j,k,l}$ sejam do tipo binário.

3. Algoritmo Genético Híbrido

O escalonamento JSF é um desafio NP-difícil, cuja complexidade se intensifica com a divisão de trabalhos. Este aumento de complexidade supera a capacidade dos *solvers* tradicionais, tornando-os ineficazes, especialmente para problemas de grande dimensão. Tendo em mente estes factos, propõe-se a adoção de um algoritmo genético (AG), uma abordagem inspirada na evolução natural, capaz de lidar com a complexidade de forma mais eficiente.

Os algoritmos genéticos são inspirados no princípio Darwiniano da evolução das espécies e na genética D. Goldberg (1989). São algoritmos probabilísticos que fornecem um mecanismo de pesquisa paralela e adaptativa baseado no princípio de sobrevivência dos mais aptos e na reprodução. O AG trabalha com uma população de possíveis soluções, aplicando operações de seleção, cruzamento e mutação para evoluir e encontrar soluções cada vez melhores ao longo de várias gerações. No operador de seleção, os indivíduos mais aptos são escolhidos para gerar descendentes. Durante o cruzamento, o material genético de dois indivíduos é combinado para criar novos indivíduos. A fase de mutação introduz variações aleatórias para aumentar a diversidade da população.

Neste estudo, propõe-se um algoritmo genético híbrido (HGA), que é uma adaptação do artigo Tutumlu e Saraç (2023). Este HGA inclui um algoritmo de pesquisa local (LSA) para obter novos indivíduos de elite. O fluxograma do HGA proposto está na Figura 1. A descrição da geração da população inicial e dos diversos operadores estão detalhados no artigo Tutumlu e Saraç (2023).

4. Experiências computacionais

Nesta secção, testa-se o desempenho da meta-heurística proposta. O algoritmo foi implementado Python 3.11.4 e os testes foram realizados num computador com Intel Core i5 de 2,40 GHz e 8 GB de RAM. Os valores dos parâmetros do AG encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros

β	Tamanho da população	p	Taxa Crossover	Taxa Mutação	a
50	100	25	80%	5%	0,5

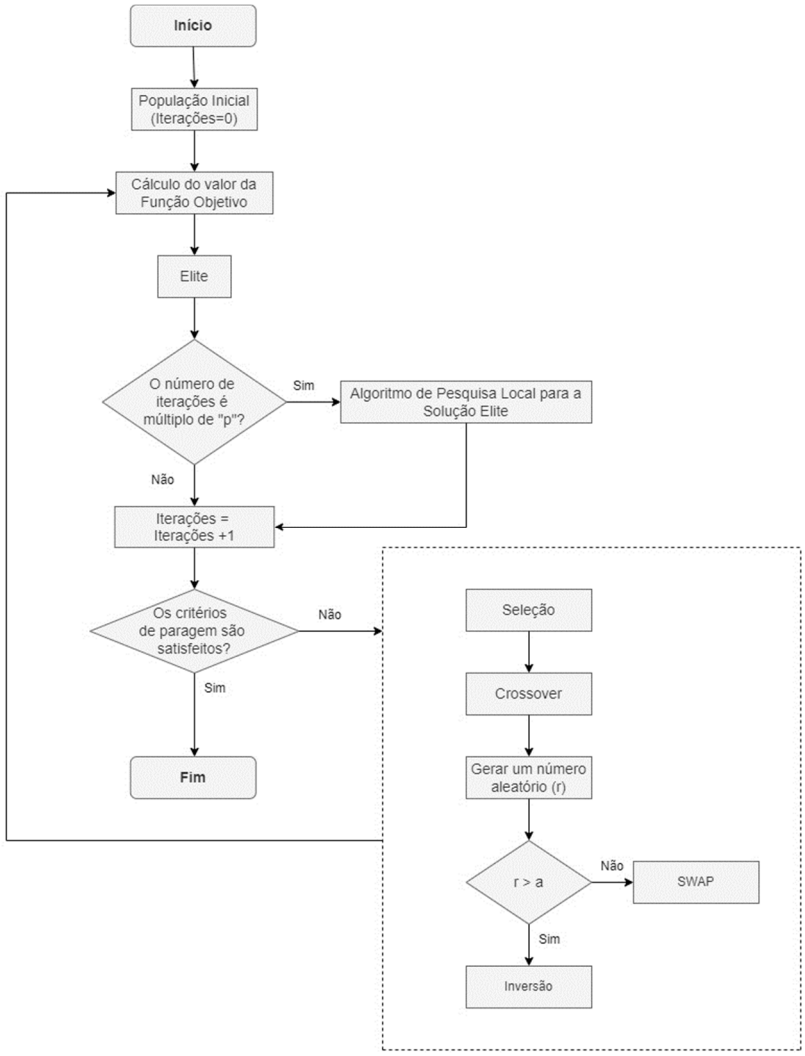


Figura 1 - Fluxograma do AGH

4.1 Descrição de uma instância de teste e resultados obtidos pelos AGH

A seguir, apresenta-se uma instância de teste e os resultados obtidos pelo AGH. A instância de teste envolve um conjunto de trabalhos, cada um composto por uma ou mais operações, e os respetivos postos de trabalho para executar essas operações,
A Tabela 6 apresenta os 2 trabalhos que compões a instância de teste e as respetivas operações. Cada trabalho i é composto por um conjunto de operações, $O_{i,j}$, onde o j representa a ordem da operação. Para cada operação, é especificada a quantidade a ser produzida e o posto de trabalho responsável pela produção.

Tabela 6 - Exemplo de uma instância de teste

TRABALHO	OPERAÇÃO	QUANTIDADE	POSTO DE TRABALHO
1	$O_{1,1}$	200	PC
1	$O_{1,2}$	200	EM
1	$O_{1,3}$	200	SL
2	$O_{2,1}$	200	PC
2	$O_{2,2}$	200	KG7

A Tabela 7 apresenta os dados dos postos de trabalho, incluindo a disponibilidade das máquinas, a identificação das máquinas (id), o tempo de *setup* e o tempo de processamento por unidade.

Tabela 7 - Dados dos postos de trabalho

POSTO DE TRABALHO	DISPONIBILIDADE (MIN)	MÁQUINA (ID)	SETUP (MIN)	TEMPO (MIN)
PC	450	26	5	0,237
EM	1350	20	10	1
SL	450	18	2	0,188
KG7	1440	6	10	5
		7	10	4,333
		8	10	5

Após a aplicação do AGH, os resultados incluem a atribuição dos trabalhos às máquinas e a quantidade produzida por cada máquina. A Tabela 8 resume os resultados obtidos, onde se pode visualizar o tamanho de sublote de cada operação em cada máquina.

Tabela 8 - Atribuição dos trabalhos às máquinas e a quantidade produzida por cada máquina

MÁQUINA	$O_{1,1}$	$O_{1,2}$	$O_{1,3}$	$O_{2,1}$	$O_{2,2}$
26	200	0	0	200	0
20	0	200	0	0	0
18	0	0	200	0	0
6	0	0	0	0	68
7	0	0	0	0	50
8	0	0	0	0	82

A Tabela 9 mostra a sequência de operações para cada máquina, indicando a ordem em que as operações devem ser processadas.

Tabela 9 - Sequência de operações para cada máquina

MÁQUINA	SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES
26	$O_{2,1} \rightarrow O_{1,1}$
20	$O_{1,2}$
18	$O_{1,3}$
6	$O_{2,2}$
7	$O_{2,2}$
8	$O_{2,2}$

O tempo de conclusão de uma operação é obtido pela equação (20). Quando há divisão de trabalhos, como é o caso da operação $O_{2,2}$, o tempo de conclusão é determinado pelo máximo dos tempos de conclusão das máquinas que executam essa operação, garantindo que a operação só é considerada concluída quando a última máquina terminar o processamento. De acordo com a Tabela 10, o tempo de conclusão da operação $O_{2,2}$ é de 419,77 minutos.

$$C_{i,j,k} = Tempo\ Inicial + \sigma_{i,j,k} * P_k + S_k \quad (20)$$

Tabela 10 - Cálculo do tempo de conclusão de cada sublote da operação O2,2 (min)

MÁQUINA	TEMPO DE CONCLUSÃO DO SUBLOTE DA OPERAÇÃO $O_{2,2}$ (MIN)
6	53,334+1+68×5+10=404,333
7	53,334+1+50×5+10=314,334
8	53,334+1+82×4,33333+10=419,667

Na Figura 2, é apresentado o gráfico de *Gantt* com o escalonamento dos dois trabalhos nas máquinas, incluindo a divisão do trabalho 2 em três sublotes na operação 2.

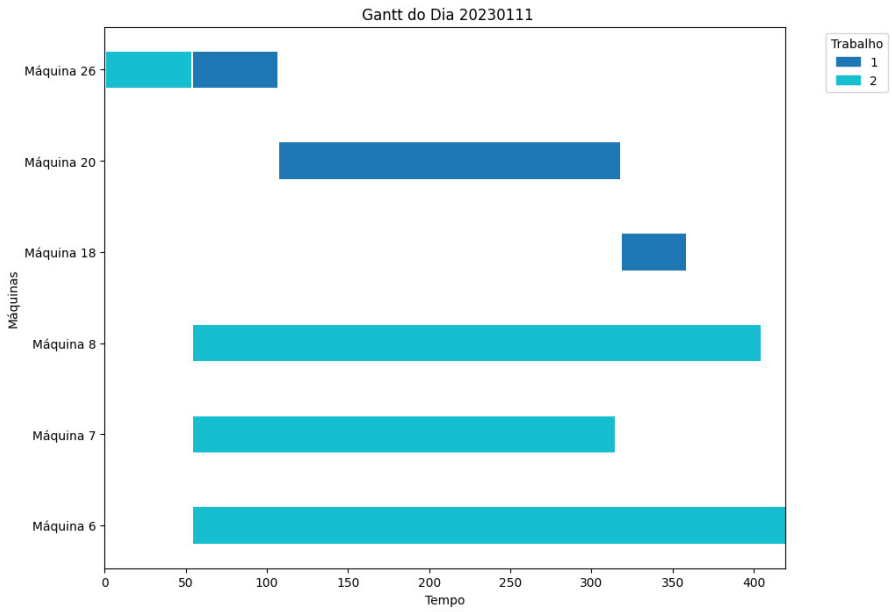


Figura 2 - Gráfico de Gantt com o escalonamento dos trabalhos

4.2 Análise dos tempos computacionais em função da variação do número de operações e máquinas nas instâncias de teste

Na presente secção, analisam-se os tempos computacionais para diferentes instâncias de teste, variando o número de operações envolvidas. O objetivo foi avaliar o desempenho do AGH em relação ao aumento da complexidade do problema. Para cada instância de teste, variou-se o número de operações dos trabalhos e máquinas, mantendo constantes outros parâmetros do problema, como o número de trabalhos e a quantidade a produzir. Os tempos computacionais são registados para cada configuração, com o intuito de analisar como o aumento do número de operações e máquinas afeta o tempo de execução do AGH. Na Tabela 11, são apresentadas algumas características de cada instância testada e os respetivos valores do tempo de CPU obtidos.

4.3 Desempenho do AGH em instâncias de um caso real: análise dos tempos de CPU para diferentes dimensões

Nesta seção avaliam-se três instâncias de um caso real da indústria têxtil, especificamente uma empresa que fabrica artigos para desporto. Estas instâncias foram classificadas em três dimensões distintas: pequena, média e grande. O tempo de CPU para cada uma das instâncias está detalhado na Tabela 12. Observando a tabela, verifica-se que para a instância grande com 67 trabalhos, o tempo de CPU registado é de aproximadamente 1 hora. Os resultados sugerem que a meta-heurística pode ser efetivamente utilizada em cenários reais, fornecendo soluções em tempo útil e admissíveis para problemas complexos como o escalonamento na fabricação de artigos desportivos.

Tabela 11 - Instâncias teste e respetivo tempo de CPU (s)

Problema	Nº Trabalhos	Nº Operações por Trabalho	Quantidade por Trabalho	Nº Máquinas no Total	Nº Máximo de Máquinas por Posto	Tempo de CPU (s)
Instância 1	2	2	200	7	3	0,219
Instância 2	2	3	200	9	3	0,266
Instância 3	2	4	200	9	3	0,281
Instância 4	2	5	200	10	3	0,484
Instância 5	2	6	200	14	3	0,594
Instância 6	2	7	200	15	3	0,875
Instância 7	2	8	200	16	3	1,172
Instância 8	2	9	200	19	3	4,156
Instância 9	2	10	200	22	3	4,281
Instância 10	2	11	200	20	3	4,484
Instância 11	3	1	200	7	3	0,281

Problema	Nº Trabalhos	Nº Operações por trabalho	Quantidade por trabalho	Nº máquinas no total	Nº máximo de máquinas por posto	Tempo de CPU (s)
Instância 12	3	2	200	10	3	0,203
Instância 13	3	3	200	14	3	0,688
Instância 14	3	4	200	15	3	0,516
Instância 15	3	5	200	16	3	0,609
Instância 16	3	6	200	19	3	1,359
Instância 17	4	3	200	13	3	0,781
Instância 18	4	6	200	23	3	1,984
Instância 19	5	3	200	17	3	2,063
Instância 20	6	3	200	19	3	2,734
Instância 21	7	3	200	24	3	1,875
Instância 22	8	3	200	19	3	2,594
Instância 23	9	3	200	25	3	3,0

Tabela 12 - Instâncias reais da indústria e respetivo tempo de CPU (s)

Problema	Número Trabalhos	Nº Máximo de Operações por Trabalho	Quantidade máxima por trabalho	Nº total de máquinas utilizadas	Nº máximo de máquinas por posto	Tempo de CPU (s)
Instância Pequena	7	8	800	27	3	3,719
Instância Média	57	8	1500	32	3	1215,859
Instância Grande	67	8	3500	32	3	3964,469

5. Conclusão

O presente estudo aborda o problema de escalonamento de *job sh*op flexível com divisão dos trabalhos em sublotes. Inicialmente, foi apresentado um modelo de programação linear inteira mista visando a minimização do tempo de conclusão de todos os trabalhos. Em seguida, foi proposto um algoritmo genético híbrido para resolver o problema em análise. Para elevar a eficiência na determinação do número e tamanho dos sublotes, incorporou-se um algoritmo de pesquisa local ao AGH.

A meta-heurística foi implementada em Python e testada com instâncias de diferentes dimensões. Os testes revelaram que o aumento da complexidade do problema, ou seja, o número de trabalhos e operações, tem um impacto significativo no tempo de CPU. Adicionalmente, realizaram-se avaliações em três instâncias reais da indústria têxtil. Os resultados demonstraram a eficácia da meta-heurística proposta. Para uma instância média com 57 trabalhos, o tempo de CPU correspondeu a aproximadamente 20 minutos, enquanto para uma instância com 67 trabalhos, o tempo ascendeu a cerca de 1 hora. Esses resultados são promissores e indicam que a meta-heurística pode ser aplicada com sucesso na indústria, oferecendo uma solução eficiente para o processo de escalonamento de trabalhos.

Como trabalho futuro, consideramos interessante a implementação do modelo descrito num *solver* tradicional e comparar os resultados com os obtidos através da meta-heurística. Esta comparação permitirá avaliar a proximidade das soluções geradas com a solução ótima e comparar os tempos de CPU, proporcionando uma melhor compreensão da qualidade das soluções e dos tempos de execução.

Referências

Abderrabi, F., Godichaud, M., Yalaoui, A., Yalaoui, F., Amodeo, L., Qerimi, A., & Thivet, E. (2021). *Flexible Job Shop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Time and Job Splitting: Hospital Catering Case Study*. Applied Sciences, 11(4), Artigo 4. https://doi.org/10.3390/app11041504

Bai, J., Gong, Y., Wang, N.-S., & Tang, D.-B. (2009). An Improved PSO Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling with Lot-Splitting. 2009 International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 1–5. https://doi.org/10.1109/IWISA.2009.5072720

Chaudhry, I. A., & Khan, A. A. (2016). A research survey: Review of flexible job shop scheduling techniques. International Transactions in Operational Research, 23(3), 551–591. https://doi.org/10.1111/itor.12199

Goldberg, D. (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, AddisonWesley.

Li, C. (2017). A Batch Splitting Flexible Job Shop Scheduling Model for Energy Saving under Alternative Process Plans. Journal of Mechanical Engineering, 53, 12. https://doi.org/10.3901/JME.2017.05.012

Li, X., & Gao, L. (2016). An effective hybrid genetic *algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem*. International Journal of Production Economics, 174, 93–110. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.016

Li, X., Lu, J., Yang, C., & Wang, J. (2022). *Research of flexible assembly job-shop batch–scheduling problem based on improved artificial bee colony*. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, *10*, 909548.

Tutumlu, B., & Saraç, T. (2023). *A MIP model and a hybrid genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problem with job-splitting*. Computers & Operations Research, 155, 106222. https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106222

Wang, Y., Yixiong, F., Tan, J., & Gao, Y. (2011). Multi-objective optimization method of flexible job-shop lot-splitting scheduling. Journal of Zhejiang University. Engineering Science, 45. https://doi.org/10.3785/j.issn.1008-973X.2011.04.022

Xu, X., Li, L., Fan, L., Zhang, J., Yang, X., & Wang, W. (2013). Hybrid discrete differential evolution algorithm for lot splitting with capacity constraints in flexible job scheduling. Mathematical Problems in Engineering, 2013(1), 986218.

Yan, G., Aimin, W., & Zijin, Z. (2020). Flexible Job-Shop Scheduling with Setups and Variable Sublots. 2020 IEEE 11th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT), 187–192. https://doi.org/10.1109/ICMIMT49010.2020.9041218

Zhang, M., Tan, Y., Zhu, J., Chen, Y., & Chen, Z. (2020). *A competitive and cooperative Migrating Birds Optimization algorithm for vary-sized batch splitting scheduling problem of flexible Job-Shop with setup time.* Simulation Modelling Practice and Theory, 100, 102065. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102065

ID30
Modelação do efeito de radiação no comportamento e conforto térmico em edifícios utilizando *EnergyPlus™*

J. Costa ([1]), P. Gonçalves ([2]), A. Carneiro ([2]), A. Ferreira ([2]), S. Teixeira ([3]), N. Rodrigues ([2])
a103726@alunos.uminho.pt, b14008@dem.uminho.pt, b13476@dem.uminho.pt, acferreira@dps.uminho.pt, st@dps.uminho.pt, nrodrigues@dem.uminho.pt

([1]) Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal
([2]) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Portugal
([3]) Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Portugal

Resumo

A Vaga de Renovação definida pela Comissão Europeia para a promoção de estratégias de renovação a longo prazo do parque imobiliário tem por objetivo melhorar a eficiência energética, impulsionar a economia e proporcionar melhores condições de vida à população europeia. Adicionalmente, a revisão da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, levará à utilização de programas de simulação dinâmica em todos os edifícios, em substituição da metodologia sazonal que é demasiado simples.
Existem vários fatores que afetam o comportamento térmico nos edifícios, dos quais a radiação se destaca como um fator de grande importância. Portanto, neste trabalho pretende-se avaliar os efeitos da radiação no comportamento térmico dinâmico do edifício e no conforto térmico sentido pelos ocupantes utilizando o software *EnergyPlus™*. Foram analisadas várias condições, incluindo o edifício exposto e com a presença de vegetação de folha caduca em diferentes posições.
Os resultados da simulação indicam que a vegetação caduca tem pouco efeito durante a estação de inverno. Na estação de verão, quando a vegetação se encontra a norte do edifício, o efeito é menosprezável. Caso a vegetação se posicione a este ou oeste do edifício, o sombreamento é também pouco notável, especialmente se não houver a presença de envidraçados nessas direções. O maior efeito observa-se quando a vegetação se encontra a sul do edifício, havendo uma maximização do efeito do sombreamento, levando ao ambiente térmico mais favorável às condições de conforto entre todos os casos.

Palavras-Chave: Conforto térmico, Edifícios sustentáveis, *EnergyPlus*, Radiação

1. Introdução

Na União Europeia (UE), 90% dos edifícios foram construídos antes de 1990, com 35% do total do parque imobiliário possuir mais de 50 anos (Filippidou et al., 2019). Muitos destes edifícios manter-se-ão até 2050, portanto a UE decidiu lançar a Onda de Renovação com o objetivo de modernizar o desempenho energético dos edifícios e as condições de vida da população. Este compromisso foi reforçado na revisão da Diretiva do Desempenho Energético do Edifícios (também conhecida como *EPDB*, em inglês) (Parlamento Europeu, 2024).
A intenção de renovação de grande parte do parque imobiliário, juntamente com a obrigatoriedade da utilização de métodos de cálculo dinâmico, ao invés do método sazonal, atualmente utilizado para edifícios de habitação, vai levar à utilização compulsiva de software de simulação dinâmica.

A partir da simulação energética de edifício, é possível determinar o comportamento dinâmico dos edifícios, com base em equações de balanço térmico e massa transientes. O balanço térmico entre o edifício e o ambiente depende das trocas de calor entre estes por condução, convecção e radiação. Este método revela-se vantajoso, já que possui a capacidade de descrever o comportamento térmico dinâmico do edifício, enquanto que o método sazonal, mais simples e menos preciso (Kotarela et al., 2023), assume um comportamento térmico do edifício como sendo estado estacionário (Al-Homoud, 2001).

Existem vários softwares de simulação energética de edifícios, de entre os quais *EnergyPlus™* se destaca devido ao seu acesso gratuito e capacidade de modelar com grande precisão os três tipos de transferência de calor pela envolvente (Esteves et al., 2021). O *EnergyPlus™* foi utilizado como motor de cálculo, sendo utilizado o *OpenStudio* como programa de interface.

Vários autores como Santos e Wang & Fukuda demonstraram a importância da qualidade da envolvente no desempenho térmico e energético de edifícios. Contudo, um edifício não se encontra isolado no espaço, objetos adjacentes ao edifício, como outros edifícios ou vegetação, podem impactar o desempenho energético e térmico. Portanto, o objetivo deste trabalho é determinar o comportamento térmico de um pequeno edifício para avaliar como a presença de obstruções adjacentes ao edifício, na forma de uma árvore, tem no seu comportamento térmico dinâmico, utilizando o programa *EnergyPlus™*.

2. Métodos e Materiais

Neste ponto será definido o edificio em estudo bem como a sua localização e as caracteristicas do meio envolvente.

2.1. Descrição do edifício utilizado

A casa simulada consiste num prisma rectangular com as seguintes dimensões: 10 metros de comprimento, 6 metros de largura e 3 metros de altura. A fachada a sul tem 8 m^2 de área envidraçada, enquanto a planta de pavimento tem uma área de 60 m^2. A Figura 1 mostra a representação do modelo. A localização escolhida foi Braga, localizada no interior norte de Portugal, que tem um clima ameno.

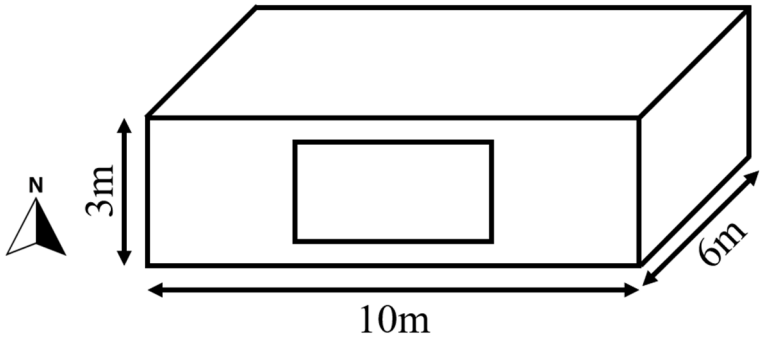


Figura 1 – Esquema da geometria do edifício utilizado no estudo.

Na Tabela 1 são apresentadas as soluções construtivas para a envolvente do edifício. Para além dos elementos da envolvente considerados na Tabela 1, o envidraçado a sul foi considerado como vidro duplo incolor de 6 mm com um condutividade de 1,10 W/(m.K), o que resulta numa coeficiente de transferência de calor de 2,6 W/(m2.K).

Tabela 1 – Propriedades térmicas da envolvente do edifício.

COMPONENTE DA ENVOLVENTE	MATERIAL (EXTERIOR→ INTERIOR)	ESPESSURA [M]	CONDUTIVIDADE TÉRMICA [W/(M.K)]	MASSA VOLÚMICA [KG/M³]	CAPACIDADE TÉRMICA [J/(KG.K)]	*U* [W/(M².K)]
PAREDE EXTERIOR SIMPLES	Reboco tradicional	0,02	1,300	1860	840	0,37
	XPS	0,08	0,037	32,5	1500	
	Bloco de betão leve	0,20	0,408	1200	880	
	Reboco tradicional	0,02	1,300	1900	840	
TETO	Gravilha	0,10	2	1700	1400	0,37
	Impermeabilização. PVC	0,0015	0,17	1390	1000	
	XPS	0,08	0,037	32,5	1500	
	Betão de argila estrutural	0,10	1,05	1700	840	
	Laje aligeirada	0,14	0,35	1000	920	
	Reboco tradicional	0,02	1,300	1860	840	
PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO	Enrocamento	0,2	2	1700	1400	4,14
	Impermeabilização. PVC	0,0015	0,17	1390	1000	
	Betonilha de regulação	0,05	1	1850	840	
	Betão armado	0,150	2	2350	920	
	Cerâmica vidrada	0,01	1,25	2300	1400	

2.2. Obstruções exteriores ao edifício

No exterior do edifício base, foi colocada uma árvore com o objetivo de se estudar o efeito do sombreamento da mesma, em diferentes posições. A árvore, representada na Figura 2, foi simplificada em dois prismas retangulares. O prisma inferior representa o tronco, com uma secção de 1 m por 1 m, perfazendo uma área de 1 m^2, e 2 m de altura. O prisma retangular superior representa a copa da árvore, possui uma secção de 3 m por 3m, totalizando numa área de 9 m^2, e apresenta 3 m de altura. Neste caso, foi considerado que a árvore dispõe de folha caduca, pelo que durante as estações de outono e inverno, as folhas não estarão presentes.

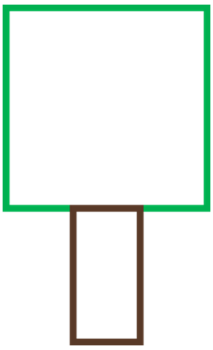


Figura 2 – Esquema da geometria da árvore utilizada no estudo.

A Figura 3 mostra os diferentes posicionamentos, sendo que A1 corresponde à árvore disposta a Norte, e assim sucessivamente.

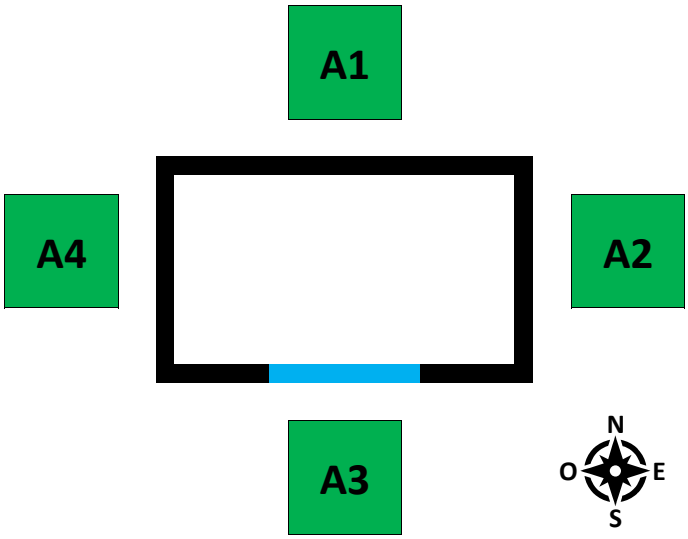


Figura 3 – Posicionamento da árvore.

2.3. Simulação em *EnergyPlus™*

O programa *EnergyPlus™* é uma coleção de módulos integrados para calcular o balanço energético dinâmico de um edifício, utilizando diferentes sistemas ativos e fontes de energia. O programa consegue modelar, com muito boa precisão as condições dos diferentes ambientes.

O processo de simulação começa aquando da definição das variáveis apresentadas a anteriormente e do local. Neste sentido, foi criado um ficheiro *EnergyPlus™ Weather* (EPW) com o clima horário baseado no clima típico anual, que inclui a temperatura do exterior, humidade, direção e velocidade do vento predominante e a radiação solar difusa e direta.

No caso em estudo todas as simulações foram feitas de acordo com o clima típico anual da região, mas os resultados apenas foram analisados em dois dias: um dia típico de inverno com sol (14 de janeiro) e um típico dia de verão (28 de julho). O dia 14 de janeiro é próximo do pico do inverno no hemisfério norte, que ocorre por volta do meio de janeiro, quando as temperaturas são tipicamente mais baixas. Este dia permite analisar a combinação de baixas temperaturas com possíveis dias ensolarados.
No entanto o dia 28 de julho é próximo do pico do verão onde se observam as altas temperaturas e a alta radiação solar.
Estes dias ajustam-se aos dias médios de inverno e verão, respetivamente.

3. Resultados e discussão

3.1. Temperatura do ar nos diferentes casos

Para o edifício base as variações de temperatura estão representadas na Figura 4. Analisando as mesmas, é possível observar que durante o dia de inverno as temperaturas exteriores são baixas, encontrando-se no intervalo dos 0 aos 10 ºC, já no interior as mesmas rondam os 19 ºC no início do dia, observando-se um aumento da temperatura até cerca de 21 ºC à medida que o edifício se encontra exposto à radiação solar. Já no verão as existem maiores oscilações da temperatura exterior (15ºC a 30ºC). No interior do edifício, observa-se um comportamento semelhante ao de inverno, com a temperatura do ar a cerca de 22 ºC no início do dia, atingindo um pico de aproximadamente 24 ºC.

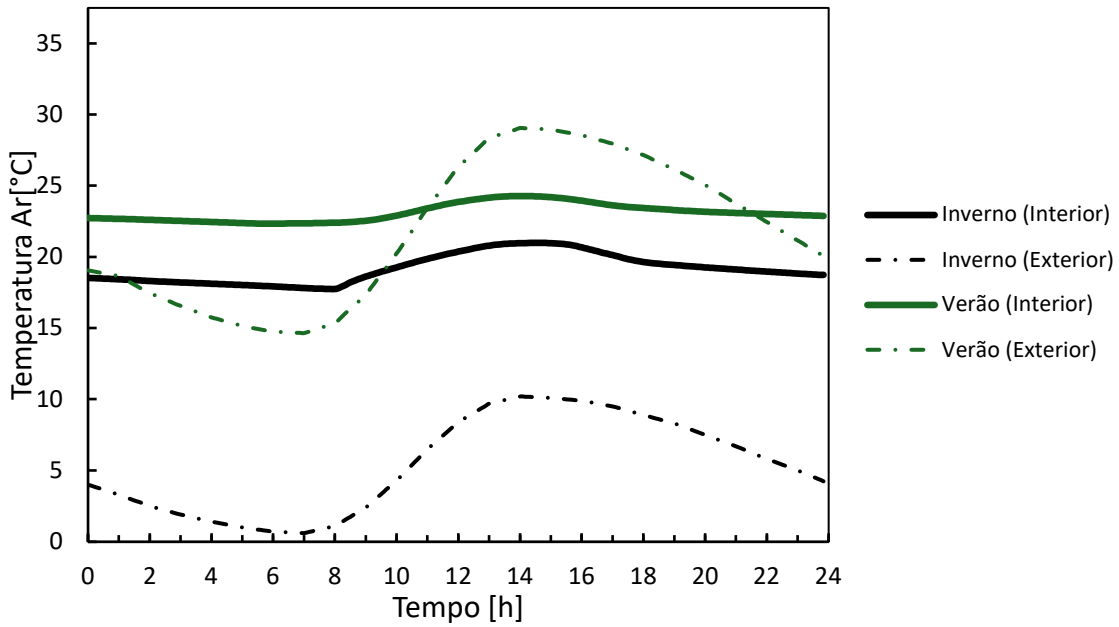


Figura 4 - Temperaturas do ar (sem árvore).

Na Figura 5 estão representadas as oscilações das temperaturas para o caso em que a árvore foi posicionada a Norte. Evidencia-se que não houve diferenças significativas na temperatura do ar interior, quer para o dia de inverno, quer para o dia de verão.

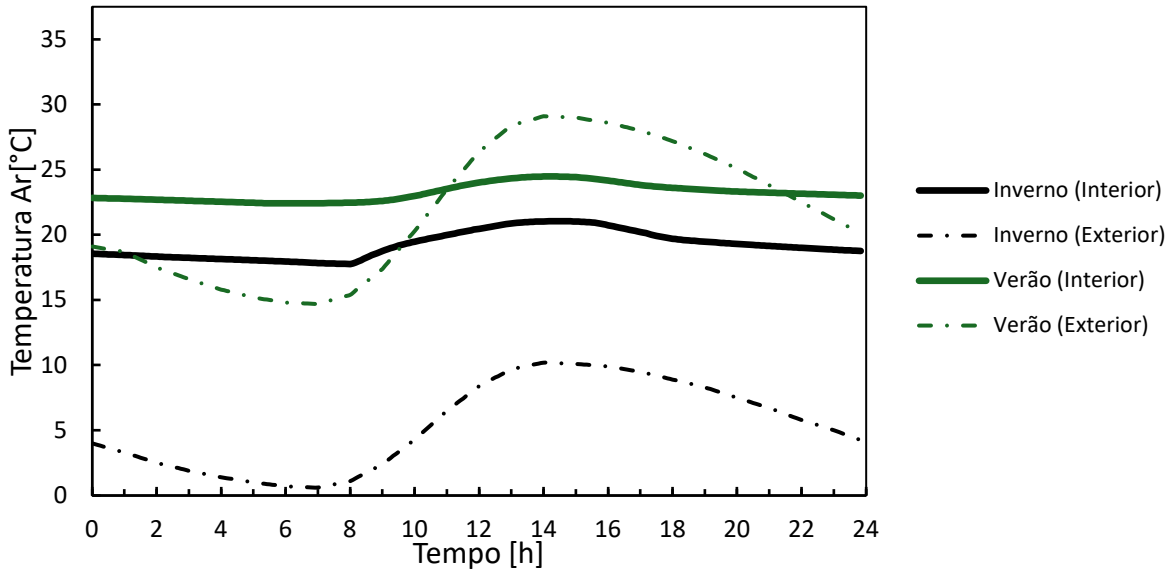


Figura 5 – Temperaturas do ar (A1 – árvore a Norte).

Na Figura 6, estão representadas as curvas de temperatura na situação onde foi colocada a árvore a Sul. Neste caso em relação ao edifício base as temperaturas interiores no dia de inverno descem ligeiramente devido ao efeito de sombreamento do tronco da árvore. No verão, as temperaturas interiores são significativamente melhores em relação ao edifício base, uma vez que se trata de uma árvore de folha caduca, a copa, que não estava presente no dia de inverno, aumenta o sombreamento feito sobre o envidraçado a sul, reduzindo a quantidade de radiação solar transmitida para o interior do edifício pelos envidraçados. Deste modo, o pico de temperatura atingido neste dia é de aproximadamente 23 ºC.

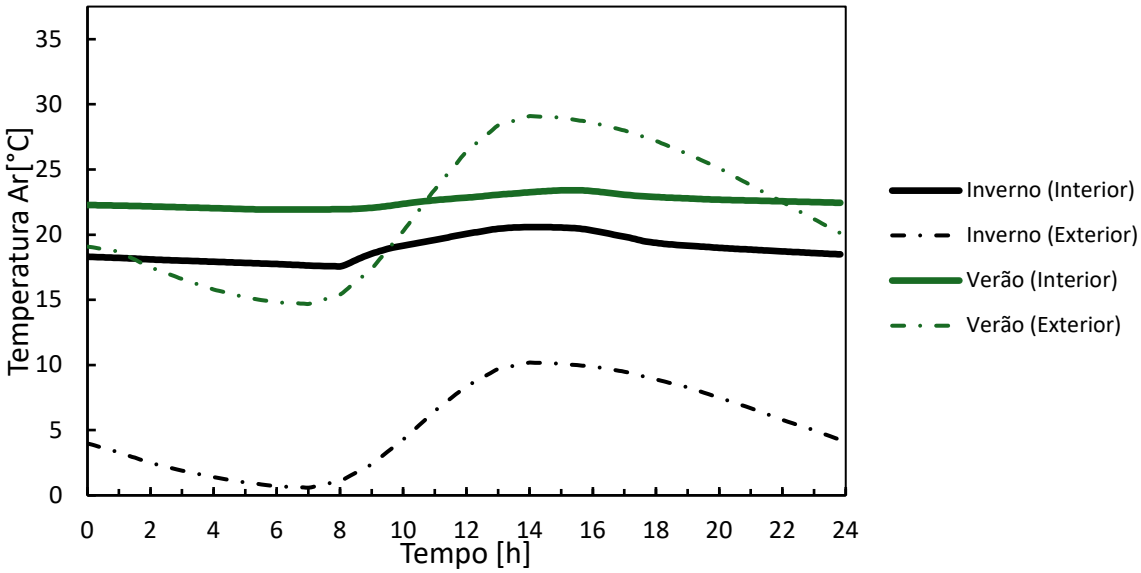


Figura 6 – Temperaturas do ar (A3 – árvore a Sul).

As temperaturas na Figura 7, que representam o caso em que a árvore foi colocada a Oeste. Semelhantemente ao caso A1, as curvas de temperatura não sofrem grandes alterações relativamente ao edifício base, já que não se observa o sombreamento sobre os envidraçados.

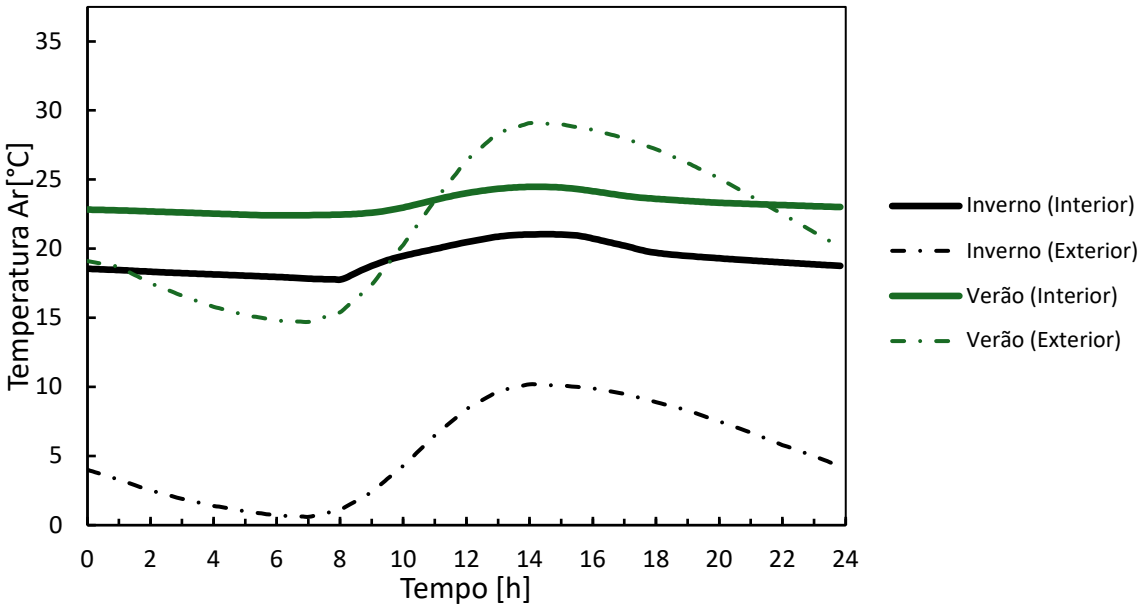


Figura 7 – Temperaturas do ar (A2 – árvore a Oeste).

Na Figura 8, quando a árvore foi colocada a Este, tal como no caso A2 da Figura 7, não foram observadas diferenças significativas nas temperaturas do ar.

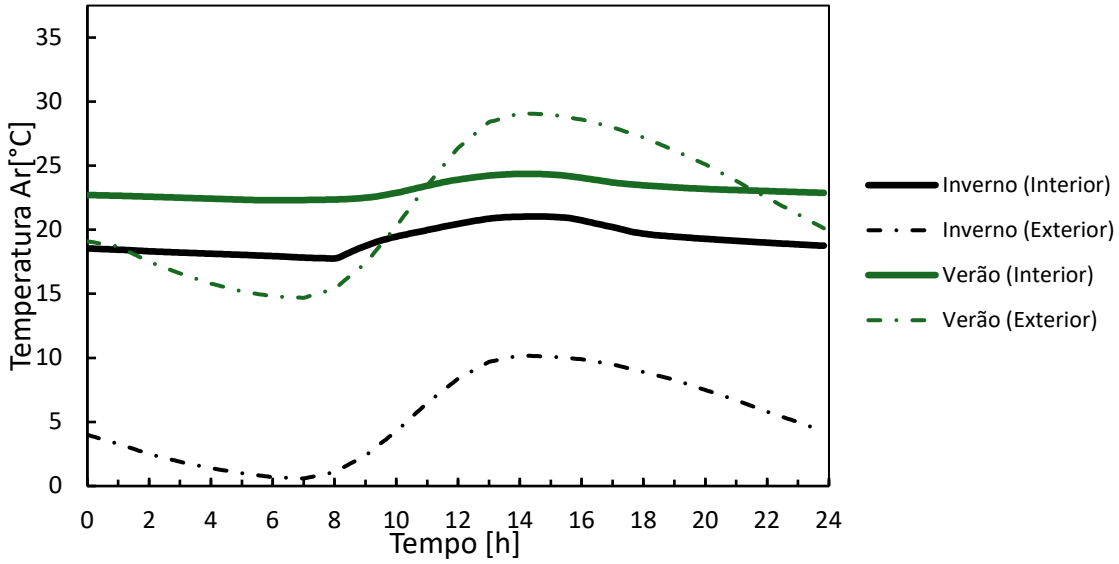


Figura 8 – Temperaturas do ar (A4 – árvore a Este).

3.2. Efeito nas superfícies do sombreamento da árvore em diferentes posições

Como citado anteriormente, foi testado o efeito do sombreamento da árvore em várias posições e em dois dias distintos.
Na Tabela 2 conseguiu-se observar que no dia 14 de janeiro o edifício base teve o chão como superfície com maior temperatura (21,55 ºC), O contrário verificou-se na parede norte (17,86 ºC), no entanto, é de referir que a parede oeste se manteve consideravelmente próxima (17,98 ºC). Nos restantes casos, com a árvore em diferentes posições, o mesmo se sucedeu. Salientando ainda, que quando o edifício recebeu o efeito do sombreamento da árvore

posicionada a sul, as paredes norte, este e oeste estiveram com uma diferença percentual de 0.01% no seu mínimo de temperatura.

Tabela 2 – Temperatura das superfícies interiores em 14 de janeiro.

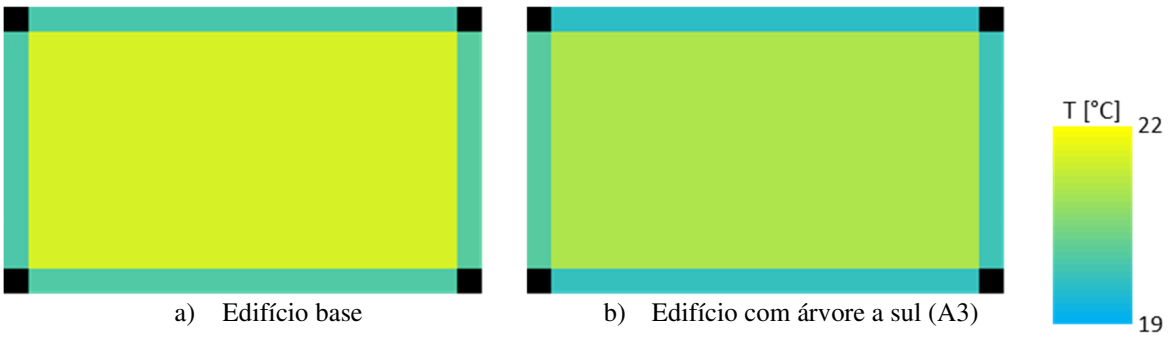
	TEMPERATURA SUPERFÍCIES [°C]									
14 de janeiro	Edifício Base		Árvore Norte		Árvore Sul		Árvore Oeste		Árvore Este	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Parede Norte	17,86	19,97	17,88	20,14	17,66	19,73	17,88	20,14	17,87	20,13
Parede Sul	18,40	20,21	18,43	20,26	18,19	19,86	18,43	20,26	18,42	20,26
Parede Oeste	17,98	20,02	18,09	21,13	17,88	20,84	18,09	21,13	18,09	21,12
Parede Este	18,00	20,20	18,09	21,33	17,87	20,91	18,09	21,33	18,07	21,30
Chão	18,50	21,55	18,50	21,49	18,33	21,07	18,50	21,49	18,50	21,49
Tecto	17,99	20,36	18,02	20,41	17,81	19,98	18,02	20,41	18,01	20,40

Já no dia 28 de julho, observa-se na Tabela 3, que para o edifício base o chão se tornou a superfície mais fria (21,28 ºC). Como superfície com maior temperatura, a parede este, sobressaiu-se, chegando aos 24.39 ºC, todavia, o teto teve uma diferença de 0.02 ºC. Nos restantes dias verificou-se o mesmo, exceto quando a árvore está colocada a sul, as temperaturas máximas e algumas mínimas caem cerca de 1 ºC.

Tabela 3 – Temperatura das superfícies interiores em 28 de julho.

	TEMPERATURA SUPERFÍCIES [°C]									
28 de julho	Edifício Base		Árvore Norte		Árvore Sul		Árvore Oeste		Árvore Este	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Parede Norte	22,77	23,87	22,80	23,89	22,29	23,04	22,80	23,89	22,73	23,82
Parede Sul	22,86	23,64	22,93	23,75	22,36	22,99	22,93	23,75	22,83	23,64
Parede Oeste	23,08	24,00	23,13	24,03	22,58	23,16	23,13	24,03	23,04	23,93
Parede Este	23,03	24,39	23,09	24,45	22,54	23,60	23,09	24,45	22,82	24,00
Chão	21,18	22,36	21,29	23,06	20,90	22,42	21,29	23,06	21,22	22,98
Teto	23,16	24,34	23,24	24,40	22,72	23,49	23,24	24,40	23,13	24,28

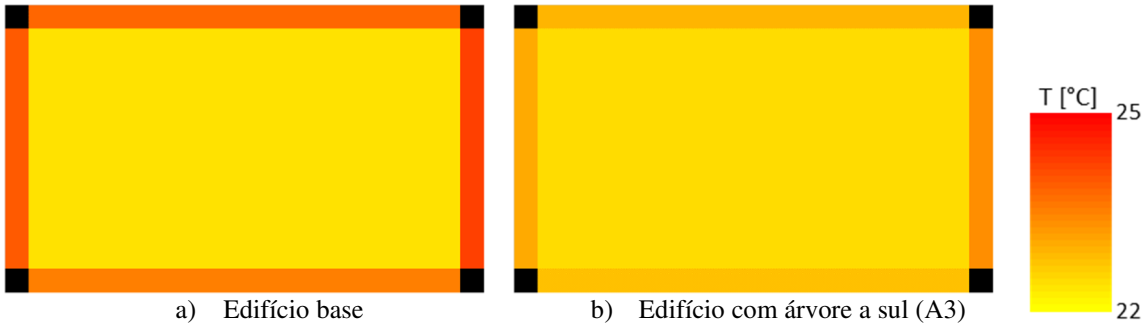
Na Figura 9, o retângulo que está centrado representa o pavimento e os retângulos envolventes representam as paredes às 14 horas, visto que já houve exposição solar significativa. É possível observar que no edifício base a temperatura no dia 14 de janeiro é nitidamente mais alta do que no edifício com árvore a Sul, o que se revela como um fator negativo para o desempenho térmico do edifício.



a) Edifício base b) Edifício com árvore a sul (A3)

Figura 9 – Esquema representativo da temperatura no edifício em dois casos no inverno.

Na Figura 10, a representação é igual à da Figura 9, logo, observa-se que com a árvore a sul a temperatura é significativamente mais baixa. Nenhuma das superfícies aproxima-se dos 25 ºC, já no edifício base verifica-se que todas as superfícies à exceção do pavimento tendem para os 25 ºC. Esta redução da temperatura das superfícies no verão do edifício base para o edifício com a árvore a sul, é bastante superior ao aumento da temperatura no inverno, resultando, em geral, em melhores condições interiores.



a) Edifício base b) Edifício com árvore a sul (A3)

Figura 10 – Esquema representativo da temperatura no edifício em dois casos no verão.

4. Conclusão

As simulações dinâmicas do Energyplus™ foram realizadas em um pequeno edifício com o objetivo de avaliar o efeito do sombreamento de uma árvore, em diversas posições. Os resultados obtidos para o dia típico de verão e inverno, mostram que quando se posiciona a árvore a Sul, a temperatura diminui, quando comparado com o edifício base. Em relação aos outros posicionamentos verifica-se que não há muita diferença na temperatura obtida em relação ao edifício sem árvore. Esta diferença deve-se, em grande parte, à ausência de envidraçados nestas paredes.

O sombreamento dos envidraçados é um tópico de grande importância, já que a radiação solar tem, tanto um efeito positivo no inverno, como um efeito negativo no verão. A utilização de uma árvore caduca demonstrou que é possível tirar proveito do sombreamento fornecido pela árvore durante o inverno, sem prejudicar demasiado durante o inverno.

Deste modo, foi possível concluir que se deve dar a devida importância às obstruções exteriores ao edifício quando se pretende determinar o seu desempenho térmico.

Referências

Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*, *36*(4), 421–433. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00026-3

Esteves, D., Silva, J., Martins, L., Teixeira, J., & Teixeira, S. (2021). Building Energy Performance: Comparison Between EnergyPlus and Other Certified Tools. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *12949 LNCS*, 493–503. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86653-2_36

Filippidou, F., Commission, E., Centre, J. R., & Jimenez Navarro, J. (2019). *Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings – Combinations of insulation and heating & cooling technologies renovations – Methods and data*. Publications Office. https://doi.org/doi/10.2760/278207

Kotarela, F., Kyritsis, A., Agathokleous, R., & Papanikolaou, N. (2023). On the exploitation of dynamic simulations for the design of buildings energy systems. *Energy*, *271*. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127002

Parlamento Europeu. (2024). *Diretiva (UE) 2024/1275*. http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj

Santos, P. A. (2017). *NZEB: Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo* [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra]. http://hdl.handle.net/10400.26/18518

Wang, Y., & Fukuda, H. (2019). The influence of insulation styles on the building energy consumption and indoor thermal comfort of multi-family residences. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/su11010266

ID32
The Impact of Level One Maintenance Performance Analysis in a Workshop: A Wind Blade Factory Case Study

D. A. Loureiro ([1]), J. L. Martinho ([1,2]), J. T. Farinha ([1,2])
daniela.a.loureiro@hotmail.com, martinho@isec.pt, tfarinha@isec.pt

([1]) Polytechnic University of Coimbra, Coimbra Institute of Engineering, Portugal
([2]) Research Centre for Asset Management and Systems Engineering (RCM2+), Portugal

Abstract

The advancement brought by technology to industries has been accompanied by numerous practical advancements applied to manufacturing, quality, and shipping methods. Thus, companies are compelled to invest in assets that secure their production flow to achieve a leading market position. These investments can either be new acquisitions or refurbishments of existing equipment, highlighting the necessity of resource optimization and the reliability perspective provided by asset management. The basis for these two ideas, directly or indirectly, is the concept that keeps machines working and production flowing: maintenance. However, asset maintenance may vary within different levels involving different tasks.
Therefore, this article focuses on a case from a wind blade factory, where preventive level one maintenance is implemented to extend the asset life cycle, aiming for after-market production, and reusing the equipment. The performance analysis highlights the importance of introducing level one maintenance in decreasing corrective maintenance interventions, enabling the creation of Key Performance Indicators (KPIs) and a thorough assessment of other machines. The analysis will provide a basis for conclusions and future decisions to optimize maintenance occurrences and equipment reliability.

Keywords: Maintenance Levels, Maintenance Performance, Key Performance Indicator, Equipment Reuse, Reliability.

1. Introduction

In industrial advancement's history, there is a common fact that kept its evolution: society wanted more. More comfort, faster cars, easier jobs, and a better lifestyle. Although the industries themselves were meant to evolve, it was the desire of "having more" that led humankind to every single Industrial Revolution until the current Industry 4.0 Era.

However, 20th century's manufacturing methods were designed to make machines that endured a lifetime, or more, spending a large number of sustainable resources. Nowadays, processes must be environmentally friendly to avoid the scarcity of assets, needed not only for manufacturing but for survival itself. To continue building equipment that ease the operator's tasks and even perform the hardest ones, companies had to start taking conscious that no machine would have an optimized Life Cycle if it had not a continuous care and utilization, leading to the evolution of Maintenance.

Thus, the present article focuses on Maintenance Performance analysis lead by the implementation of Level One Maintenance on used equipment with an advanced lifetime. It is expected to see the influence of continuous care of the machine on the number of corrective maintenance requests and, eventually, the incrementation of KPIs and monthly stoppage rate, supported by the creation of equipment's history.

In section 2, the results of literature's review are presented, giving a clarified vision of Maintenance and Asset Management Evolution. There is also highlighted the importance of KPIs in performance analysis and its support on old equipment assessment. Section 3 explains the approach adopted to perform the data aggregation and processing, followed by KPIs construction. In section 4, the case study is presented as well as a general machine's history to complement with the available preset data.
Finally, the results and conclusions of the case study are given, accompanied by the future expectations of the developed work in the company's scenario and its application in other industries.

2. Literature Review

Within its own development, Maintenance has evolved since Reactive Maintenance, through Preventive and Predictive Maintenance, reaching Prescriptive Maintenance, as said in (Lee, et al., 2020), and presented in Figure 1.

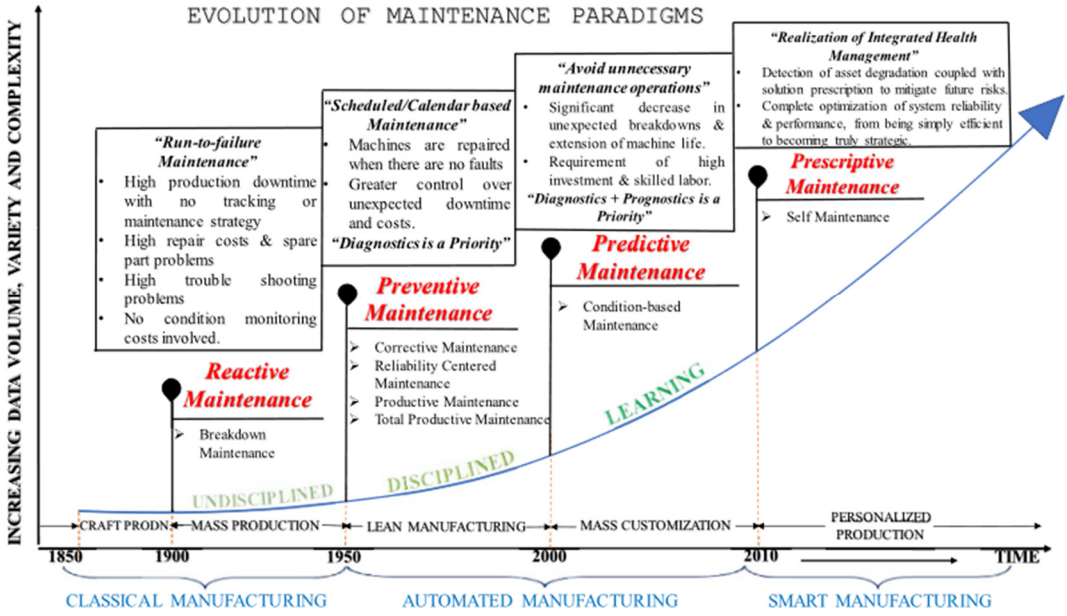


Figure 1: Evolution of Maintenance Paradigms. Source: (Lee, et al., 2020)

While Classical Maintenance was known for "running after the prejudice", Automated Maintenance started to make disciplined decisions regarding equipment's maintenance, like repairing the machine before it fails aiming for a bigger control over unexpected downtime and costs. Then, the Lean methodology, with its non-waste policy, started to be compiled with Maintenance, leading to the avoidance of the unnecessary operations conducted by the previous paradigm. Finally, and currently in development in various companies, Smart Maintenance as combined the learnings of each stage of evolution into a complete optimization of the system's reliability and performance, giving the equipment the ability to evaluate itself and perform self-maintenance. This paradigm, called Prescriptive Maintenance is mainly possible due to technology's advancements and Artificial Intelligence, supported by a strong history of the machine and its role in Asset Management.

However, there is a common fact between all Maintenance paradigms: data analysis, known for being the direct partner of KPI (Key Performance Indicators). As (Marc-Alexander Lutz, 2023), maintenance and equipment specific information mostly comes from Work Orders, where usually the failure is described and also its resolution. In (Marc-Alexander Lutz, 2023) particular case, the data extracted from those documents can be a tool for incorporating AI (Artificial Intelligence) within the industry: by having AI evaluating the information from Work Orders, KPI's are much more easier to predict and calculate.
There is a continuous development using every piece of information from equipment, not only because technological advancements require it, but mainly because it's the best way to improve machine learning and human operational co-working.

Therefore, KPI frameworks have started to be positively developed within industries aiming for an even stronger decision-making process, led by thorough data analysis and indicators calculation and improvement, as seen in (Bianca Duldner-Borca, 2023), where the connections between the used KPI's are studied and proved useful when combined in a optimized framework.
This way, data gets processed and well-grounded conclusions are brought to light, with powerful evidence to prove them and help top managers to categorize and prioritize every task they might have.

3. Methodology

To evaluate any operation involving machinery it is necessary gathering data. In the presented case, the corrective interventions were registered on a document where the breakdown was described by the team leader and the maintenance technician would complete it with a detailed report of the intervention. On this document, the time and date of the breakdown, the start and end of the corrective action were also inserted.
However, the document's information was not processed in any way, having then a large archive and no way of taking conclusions from the technicians' work or chain of events that could explain the equipment's problems.
To conduct the analysis, it was necessary to create a database where the information from the document would be loaded and extract the most conclusions possible. The processing of the data was then started by the elaboration of a programmed Excel® Workbook that would order the events chronologically and calculate the waiting time from the request to the maintenance start, the intervention's duration, and the equipment's downtime. The datasheet was also able to identify the shift where the problem had occurred by the time of the request. In Figure 2 and Figure 3 it is presented the header of the data table.

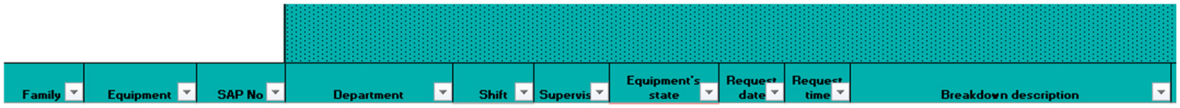


Figure 2: Table Header 1.



Figure 3: Table Header 2.

In the table, each equipment should have an intern number and its state consisted in an evaluation conducted by the team leader and had four options: "Stopped", "Conditioned", "No Impact" and "Improvement".
The shift was calculated using the information from the "Request time" using a formula that checked which shift schedules the time data was inserted and returned "Night", "Morning" or "Afternoon".
The 3-time calculations used the information from "Request date", "Request time", "Maintenance date", "Start time" and "Conclusion time" and returned the "Waiting time", "Intervention's time" and "Downtime", following the Formulas 1, 2 and 3.

$$Waiting\ time = (Maintenance\ date - Request\ date) + (Start\ time - Request\ time) \quad (1)$$

As the information from the excel cells was date and time, the formula had to calculate the difference in separate fractions and then sum it. The result, if there had not been any waiting time, would be "0 days 00:00:00". This format was also applied to the other calculations.

The "Intervention's time" was calculated by the difference between the conclusion and start time (Formula 2):

$$Intervention's\ time = (Conclusion\ time - Start\ time) \quad (2)$$

Finally, the "Downtime" subtracted the Request date and time to the Conclusion date and time (Formula 3).

$$Downtime = (Maintenance\ date - Request\ date) + (Conclusion\ time - Request\ time) \quad (3)$$

After the elaboration of the excel formulas, a *macro* was also built using Visual Basic language to automatically save the inserted line of information in the correct time order and reinsert the formulas in the cells where the new data would enter.
Within 9 months (October 2023 to June 2024), the documents' information was registered in the database, totalizing an amount of more than 1000 rows of data, from May 2023 to the present date. However, the regular registration started in December 2023, taking less than 3 months to build the database and regulate the record.

With all the corrective maintenance requests being processed, it turned possible a thorough analysis of the equipment's needs, regarding not only its use but specially its advanced life cycle, and even the operational doubts that could come from the working teams. Also, the construction of KPIs regarding the frequency of maintenance interventions aided the identification of possible failure's sources and its mitigation, by analyzing the request and maintenance report: similar problems have a higher probability of having the same source, and using Pareto's Method (20/80), it is simpler to find the beginning of the problem (20%), solve it and eliminate a bigger percentage of failures (80%).

4. KPI Implementation

KPI Implementation is only possible through the process of data collection and analysis. Thanks to the registration of every reactive maintenance intervention over a year, it was possible to gather enough information to quantify some of the most important and efficient aspects that lead to KPI construction. The implemented KPI's were the following:

- MTBF as the denomination claims, evaluates the frequency of the equipment's failures, aiming to the prediction of how much time it will work without a repairing intervention. To calculate this indicator, the Formula 5 was used:

$$MTBF = \frac{Total\ uptime}{nº\ of\ failures} \tag{4}$$

- Downtime Rate was calculated in a general scenario for the factory, to know how much time of the predicted production schedule was dedicated to corrective maintenance interventions. The set goal was 6%, and the rate was calculated through the Formula 5:

$$Downtime\ Rate = \frac{Downtime}{Total\ uptime} \tag{5}$$

The indicators were calculated for all the factory's equipment, once they were on the TOP3 that received corrective interventions and provided a better assessment of their efficiency and reliability, as they show how much time they endure without failing and, when they do, how much time they need to be back working again. This takes a special importance due to their advanced lifecycle.

5. Data and KPI Analysis

During the evaluated nine months, the information was monthly assessed and only after four months it was possible to start tracing a pattern in some of the equipment. The major reasons for the necessity of that amount of time resides in two aspects, already mentioned above: the various teams working with the machine and the advanced life of it. With the KPI construction it was possible to correlate the failure with the production process and understand the connection between the equipment's needs and the operational procedure.
In the present article will only be illustrated the results for one equipment: glue machines. It was chosen due to its function within the manufacturing process and its regular need for maintenance interventions during the evaluated time period, as seen in Figure 4.

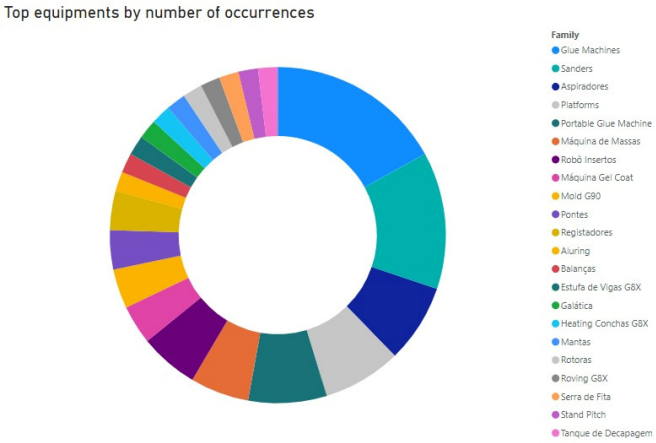


Figure 4: Top equipment by number of failures - November 2023.

Glue machines are responsible for the assembly of the blade's parts. There are three of them in the factory, each one working three times per week (1h per time). However, if any of this equipment fail, it can jeopardize the whole production, being that the main reason of the need for First Level Maintenance.

After the standardization of corrective maintenance registration, its development was evaluated to assess the months in which there were more interventions, in which equipment they happened and what to do in the next months to prevent it from repeating. From November 2023 to February 2024 these machines had monthly corrective interventions, although their amount might have varied through each month, as shown in Figure 5.

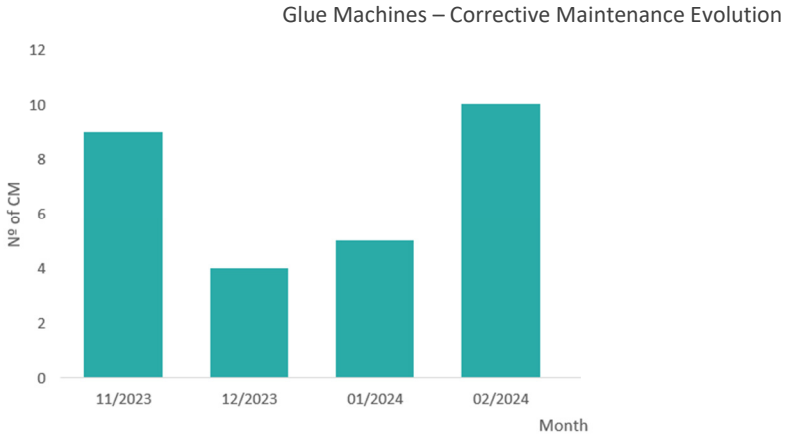


Figure 5: Corrective Maintenance Evolution - Glue Machines.

However, focusing on the assessment made in November 2023, the glue machines stood out from the rest of the equipment, with a 16% of corrective interventions, when compared to the total number of interventions conducted to every other equipment that needed, as shown in Figure 5. For example, when set side by side to the second most needed equipment "Sanders" (13% of interventions), which are a total of 150 machines, Glue Machines which are only 3, still stood out, highlighting the increasing need for First Level Maintenance.

Because of this, the MTBF of each one of the TOP equipment was calculated and added to a list that would be monthly assessed. The Glue Machines' monitoring started in November mainly because of the conclusions taken from the graphic presented in Figure 4, joined with the one in Figure 5 and it's MTBF calculation, presented in Figure 6.

Top. Equip.	Month	Working days	Hours/shift	Total Uptime	NºCM	Downtime	MTBF (h)
Glue Machines	11/2023	12	3	36	9	10:52:00	4
Glue Machines	12/2023	8	3	24	4	04:40:00	6
Glue Machines	01/2024	13	3	39	5	08:14:00	7,8
Glue Machines	02/2024	10	3	30	10	10:07:00	3
Glue Machines	03/2024	12	3	36	1	00:30:00	36
Glue Machines	04/2024	7	3	21	2	01:11:00	10,5
Glue Machines	05/2024	5	3	15	2	02:34:00	7,5
Glue Machines	06/2024	10	3	30	3	02:30:00	10

Figure 6:Collected Data – MTBF calculation.

As in November 2023 a high MTBF value was obtained, a study was conducted to assess the common facts between the observed failures. The process followed the listed steps:

1. All the reports were gathered and itemized by machine 1, 2 and 3. This assessed which one was having the most failures.
2. The Effective Maintenance Time was analyzed and summed for each machine, followed by the comparison between them to see if the machine that received most of the interventions was also the one were the bigger amount of time was spent.
3. Once the machine that received more corrective maintenance was identified, the failure and technician reports were studied: within all interventions, 56% were related to debit problems from the machines, and from those, 30% were caused by pump's sensor positioning (an accessory that must be in placed in order to control the pump's movements) and other 30% were raised by missing primed pump (before starting the process, the pumps had to work for 10 seconds to get ready). In the total, each failure source had a representative percentage of 16% within the total, being the remaining 68% due to ratio problems (only solved by maintenance technicians).

The study of every failure source led then to an identification of the possible solutions, involving First Level Maintenance, mainly because, due to the importance of the equipment, the technicians checked all 3 machines before every gluing process. So, smalls tasks like cleaning, maintaining the sensors in place and letting the pump get ready, had a considerable importance on the optimization of technicians' intervention time. If a bigger problem would come up, it would be much simpler to focus only on it, instead of having to do a full preparation and repair of the machine before starting the actual intervention.

For this, a group of tasks of First Level Maintenance was developed, listed below:

1. **Verification of the car wheels** - look for damages in the wheels.
2. **Check the condition of the plug and electric cable. Avoid the cable being compressed by the machine** - as the machine has wheels, there used to occur the damage of the cable during its movement backwards.
3. **Proper preparation of the machine** - the pump is allowed to operate and heat up until its noise is stabilized.
4. **Check the correct position of the limit switches –** make sure the component's sensors were in the correct position.
5. **Check for spills and general damage** - condition of the containers.
6. **Check the operation of the swivel arm**.
7. **Clean the tube and mixing head after gluing** – this task was especially important due to the glue's 15min catalyzation period. If it happened, it would take more than 8h to clean all the piping.
8. **General cleaning of the equipment** (objects/tools should not remain on the machine) - this task was both a maintenance task and a safety measure.

Each of the tasks in the listed group had a specific time to be done either before gluing of after, and during the preparation of the machine, while the component containers were changed. The panel also had a table to fill in each day and shift when the tasks were successfully conducted. Each shift's team leader was responsible for fill in the registration panel.

In Figure 7 there are presented examples of the tasks of the Glue Machines' panel.

3	**Proper machine preparation:** the pump is allowed to operate and heat up until its noise stabilizes.		When turning on the hydraulic pump, you should wait at least **10 seconds** for it to stabilize the noise and heat up. Only then is it ready to start gluing!	Before utilization
4	Check the correct position of the limit switches on Component A's pumps.		**Before gluing,** check if the limit switches of each component's pumps are **aligned to prevent flow errors during the process.**	Before utilization



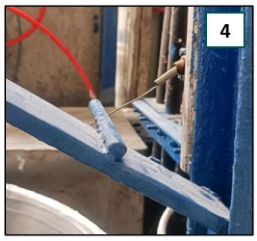


Figure 7: Description and image aid of the First Level Maintenance tasks.

As seen, each tasks had a number, a first approach to the chore, followed by the full description and period to be conducted. In addition, each task had a respective image to help the operators to better understand to which component was referred in the panel.

After the identification and development of mitigation tasks, it was needed some time to start having positive results. As seen in Figure 5, there was a month were the MTBF increased exponentially: February. This happened not only due to the implementation of new assignments, but also because of component ratios and the need for procedure refresh. During this month, the machines were parameterized, and the First Level Maintenance training was conducted again, resulting in the decrease and stabilization of the indicator in the month that followed.
As expected, the number of corrective interventions was mitigated and started to be more regular, as presented in Figure 8. For three machines, since February 2024, maintenance has only been due too major failures, connected to the erosion of spare parts, or needs for deeper cleaning only conducted by maintenance technicians.

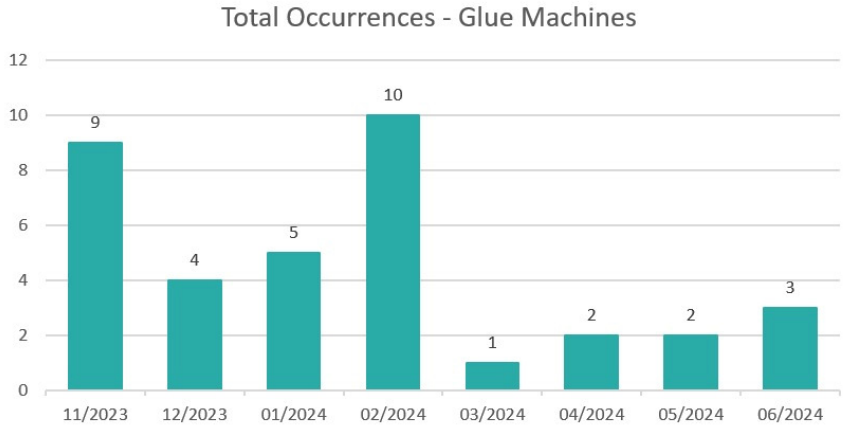


Figure 8: Corrective Maintenance Evolution (nov/23 to jun24) - Glue Machines.

It is also visible the results from the implementation of the First Level Maintenance of the MTBF evolution, presented in Figure 9.

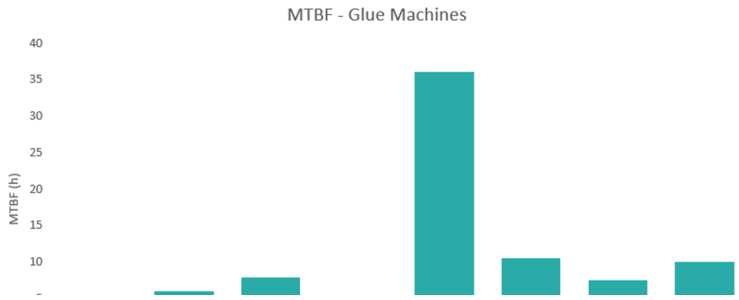


Figure 9: MTBF (nov/23 to jun/24) - Glue Machines.

With the MTBF implementation it was also possible to assess the equipment's Downtime Rate, by using Formula 5. The results are presented in Figure 10.

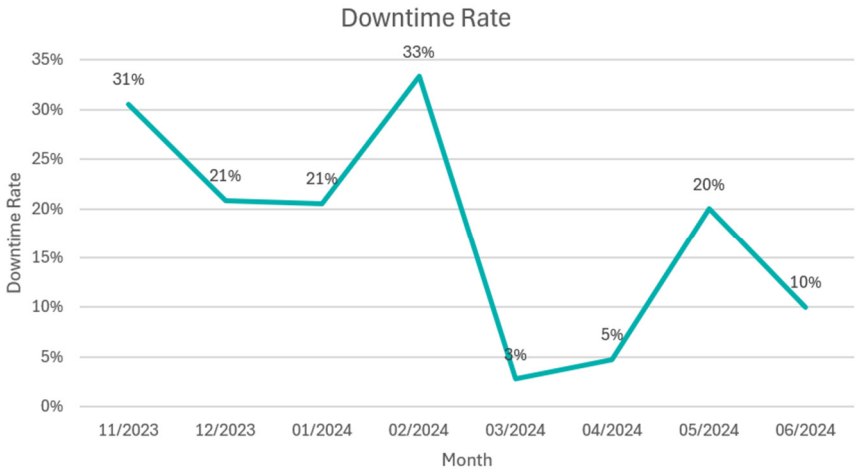


Figure 10: Downtime Rate Evolution.

As seen, the evolution of the downtime rate starts to be almost constant as well as the number of Corrective interventions, observed in Figure 8. An important fact to be considered in the present assessment was the production stoppage in March 2024, where the manufacturing project changed, decreasing the equipment's usage. However, even after the restart of the production flow, the Rate got considerably lower than the months prior to the First Level Maintenance implementation, having a higher value in May, when the production reached its usual flow, but immediately decreasing in the following month. It was the closer value to the 6% goal.
In addition, the Downtime Rate was also implemented to the factory's scenario, by using the same calculation layout and following the number of Corrective Maintenance of all equipment.

6. Discussion of Results

Industry cannot achieve its goals without people and machines. However, none of them can do the current high-effort tasks alone, increasing the need for co-work development. The presented article focused on the correlation between human and equipment need, making the base for well-grounded Asset Management decisions.
The conclusions brought by the conducted assessment not only highlighted the need for advancement within the industry, but also the importance of preparing the way before walking into it. The registration and KPI implementation provided the tools for monitoring machine's maintenance and for prioritizing the ones that truly have urgency in having an intervention. After the implementation of First Level Maintenance, the equipment's MTBF and Downtime got a visible improvement, as well as its manufacturing performance got much more controlled and successful. The monitoring of these aspects will open the possibility of stepping into the next Maintenance Level: Predictive Maintenance; and the gathered data will prove itself even more useful in other areas of Asset Management.

With the monthly report elaborated with the possible findings, the Top Management have access to a detailed situation of the equipment's status, time spent and the maintenance team effort to solve every failure within the month. This also brings the factory to a level of proximity between human and machine, clearing the function of the second within the manufacturing process: not only a tool, but also an important variable, specially applied to the most difficult tasks. In addition, operational procedures get more complex when including the equipment's maintenance, but with the First Level tasks implementation there is a form to simplify the operators' routine in order to include the care of the machine and, maybe, the resolution of upcoming failures, possibly related to operational doubts on the used methods.
From there, the basis for Industry 4.0 and next are formed by a strong bond that connects the needs from the operators to the equipment's, highlighting the importance of maintaining the good condition of every component, and proving that "old" doesn't always mean "not fit".

7. Conclusions

The present article focused on the impact of performance analysis of First Level Maintenance on a factory's scenario. However, performance can only be evaluated when data exists. To do so, it was necessary the registration of maintenance interventions, then followed by data analysis and First Level tasks implementation.
The monitoring of the equipment proved this method to be effective, however with the Industry's advancements, this step is almost taken as granted for every Asset Management Improvement. What is not measured, cannot be managed; and to be measured, it has to be registered and processed. Digital information when coming from non-technologically monitored equipment has a long way to go until being ready for processing, representing in the author's opinion the biggest obstacle to Industry's development. There is, for certain, a path to follow, complemented with the awareness for machine's needs and importance within the shopfloors.
As advancement never has an end, KPI implementation doesn't either so, with the gathered data for the presented article, it could also be possible the implementation of other, as MTTR (Mean Time to Respond), Cost evaluation, spare parts consumption, OEE (Overall Equipment Efficiency) or Equipment Reliability, with a special application in advanced lifecycle equipment.
In the future, the present article can represent an assistance for the implementation of any kind of KPI, giving a possible way for data processing and turning it into results, capable of improving Asset Management Maintenance techniques.

Bibliography

Bianca Duldner Borca, E. v. M. E. (2023). Understanding the effects of resolving nautical bottlenecks on the Danube: a KPI based conceptual framework. European Transport Research Review.

Lee, J., Ni, J., Singh, J., Jian, B., Azamfar, M., & Feng, J. (2020). Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. Journal of Manufacturing Science and Engineering.

Marc-Alexander Lutz, B. S. (2023). KPI Extraction from Maintenance Work Orders—A Comparison of Expert Labeling, Text Classification and AI-Assisted Tagging for Computing Failure Rates of Wind Turbines. Energies.

ID33
Maintenance vs. Job Satisfaction: A Bus Company Case Study

Pedro Apóstolo ([1]), Hugo Raposo ([1,2]), Jorge Raposo ([1,2,3])
p.apostolo.pma2@gmail.com, hugo.raposo@isec.pt, jorge.raposo@ipt.pt

([1]) Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Portugal
([3]) Ci2, Polytechnic University of Tomar, Tomar, Portugal

Abstract

This study examines the relationship between maintenance practices and job satisfaction within a bus company. It highlights the significance of efficient asset management and maintenance strategies in ensuring operational continuity, optimizing resources, and enhancing employee satisfaction. The research underscores the necessity of integrating asset management methodologies with a cultural transformation that involves active employee participation and identifies key factors impacting job satisfaction, including remuneration, working conditions, career development opportunities, support and recognition, supervision, and job security. By proposing strategic resolutions to improve these factors, the research aims to foster a more motivated, productive, and satisfied workforce, ultimately enhancing the company's operational efficiency and service quality. The findings suggest that a holistic approach, incorporating both technical and human elements, is essential for sustainable success, as it aims to optimize employee performance, reduce costs associated with human errors, and increase profits through enhanced productivity. This study can also be applied across other industries.

Keywords: Asset Management, Job Satisfaction, Maintenance, Public Transportation.

1. Introduction

In the current scenario of technological advancements and increasing pressure for sustainability, the efficient management of the lifecycle of physical assets has become a fundamental pillar for public transportation companies, ensuring not only operational continuity but also the optimization of resources and the reduction of environmental impact. The challenge of balancing maintenance versus availability (including labor, time, reserve fleet, and financial resources) is amplified in contexts where the failure to perform planned maintenance due to temporal and financial constraints results in compromised operations and an increase in breakdowns.

Integrating asset management methodologies and maintenance practices into bus fleet operation is an initiative that goes beyond the implementation of technical procedures; it requires a cultural transformation that centers employee collaboration as a key element in effective asset management. ISO 55000 (2014) defines asset management as a coordinated set of activities within an organization aimed at deriving value from assets. It provides an overview, principles, and terminology for asset management, emphasizing the importance of aligning asset management with organizational objectives, considering risks and opportunities, and focusing on optimizing asset value throughout their lifecycle. Asset management, whether for buses or any other asset, involves not only managing the assets (maintenance, etc.) but also maximizing their value. This includes minimizing direct and indirect expenses associated with the assets, such as repair costs, labor time, operational expenses, and even customer satisfaction.

M. Francisco (2010) assert that the visible costs of a workplace accident, such as medical expenses and compensation, represent only the tip of the iceberg of the total costs involved. Most costs are hidden and not immediately noticeable, much like most of an iceberg is submerged, as represented in Figure 1.

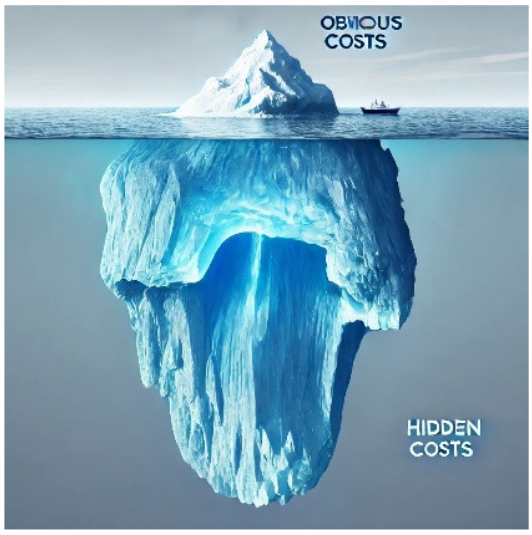


Figure 1- Iceberg of Costs

These hidden costs include loss of productivity, downtime, training costs for replacements, damage to employee morale, impacts on the company's reputation, and potential increases in insurance premiums. Additionally, there are costs related to accident investigation, implementation of corrective measures, and potential legal penalties.

Francisco emphasizes the importance of effective occupational health and safety (OHS) management to mitigate these costs. Implementing accident prevention policies and continuous training programs can help reduce both visible and hidden costs. Investing in accident prevention is presented as a strategy not only to protect workers but also to preserve the organization's financial resources in the long term. Therefore, the "cost iceberg" serves as a powerful illustration of the need for a comprehensive and preventive approach to managing workplace accident risks, highlighting that investments in safety are, in fact, substantial savings when compared to the total costs that accidents can generate.

A critical mistake of many companies is failing to monitor/prioritize employee productivity and human management. This oversight can have a significant impact, not only by increasing costs due to human errors but also by reducing the company's profitability, as higher employee productivity and motivation are directly linked to improved financial performance. Job satisfaction is a concept that extends well beyond remuneration. In addition to monetary compensation costs, human resources management incurs expenses in areas such as training, safety, productivity losses due to illness, and costs associated with human resources teams and systems required for managing the company's human resources.

Various methodologies also address the need to prioritize employee health and well-being, one of which is the Lean methodology. According to Pinto (2008), the Lean methodology is a system aimed at developing processes and procedures through the continuous reduction of waste in all phases. This approach not only enhances operational efficiency but also contributes to a healthier and more productive work environment. By eliminating unnecessary tasks and streamlining workflows, Lean methodology helps reduce employee stress and workload, leading to higher job satisfaction and overall well-being. Additionally, Lean principles encourage employee involvement and empowerment, fostering a culture of continuous improvement and innovation.

Job satisfaction has received extensive attention from management and social psychology fields, both theoretically and practically. Various authors have developed job satisfaction models tailored to different industries, each with varying levels of adequacy and applicability, aiming to assess workers' situations in relation to their respective companies (Robinson, 2000; Zhu, 2012; Kim, 1996; Toropova, Myrberg, Johanson, 2021; Mehrez, Bakri, 2019; Meng, Berger, 2019). The vast majority of these models directly link these indicators to job satisfaction and organizational commitment, which in turn indicate happiness at work and foster the intention to stay.

Figure 2 exemplifies one of these models, with indicators such as remuneration, development, support, recognition, compensation, empowerment, services, safety, working conditions, and the nature of the work.

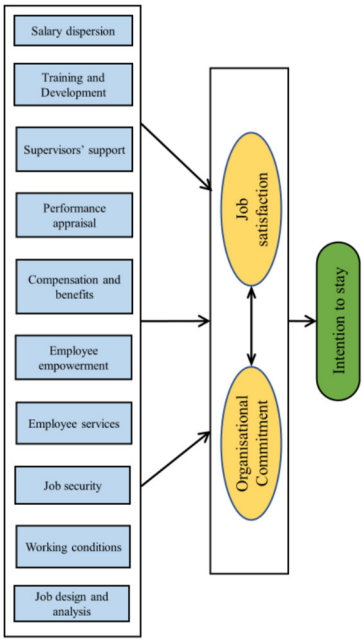


Figure 2- Research conceptual model modified from [7]

Each type of industry demands different specificities since they all have distinct work dynamics and career paths. Construction is an example of one of the most challenging industries due to the variable nature of the work and demographic diversity. Therefore, maintaining worker satisfaction in this industry is crucial for improving retention rates and employee productivity. Khahro et al. (2023) identified the main factors to consider in companies within this industry:

1. Compensation Package: Recognized as the most critical element for satisfaction, this package includes salary, medical benefits, paid leave, and family benefits.
2. Work-Life Balance: The second most important factor, encompassing working hours, task flexibility, schedule rigidity, and other related sub-factors.
3. Career Growth: Opportunities for training and career advancement, along with expectations for growth and increased compensation, are the third most relevant factor.
4. Job Security: Job security is the fourth key factor, followed by supervision, work environment, and demographic characteristics.

According to Hsieh (2024), feelings of psychological ownership among volunteers significantly increase their commitment to the organization and their satisfaction. Voluntary organizations that foster a sense of psychological ownership among their members tend to be more innovative and effective. Strategies to enhance psychological ownership include granting more autonomy to volunteers and involving them in decision-making processes.

Approaches such as Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability-Centered Maintenance (RCM) maximize the value of an organization by fostering the active participation and engagement of every team member, addressing both maintenance tasks and human resource development. Employee collaboration in implementing condition-based maintenance (CBM) and predictive maintenance (PdM) is crucial for the success of these approaches. Through the collection and analysis of real-time data, employees are key in monitoring the condition of buses, allowing for more accurate and timely maintenance (Swanson, 2001). According to Nakajima (1988), TPM not only boosts operational efficiency but also cultivates an environment where responsibility for asset care is a collective commitment. This sense of ownership is crucial in public transport companies, where the continuity and efficiency of buses directly depend on preventive maintenance and the ability to anticipate failures. Moubray (1997) argues that employee participation is essential, as they possess valuable practical knowledge about the performance of buses under various operational conditions. Their insights help shape more efficient maintenance strategies, ensuring the appropriate allocation of resources and enhancing fleet reliability and availability. Thus, it is evident that employee collaboration in asset management and maintenance is fundamental to transforming maintenance strategies from reactivity to proactivity, ensuring the efficiency and continuous availability of the bus fleet. Cultivating a culture that values the active participation of each employee not only optimizes operational performance but also reinforces the organization's commitment to sustainable, safe, and customer-satisfaction-oriented practices, and profit for the company itself.

An effective method to assess a company's performance is through KPIs. According to ISO NP EN 15341:2009, Key Performance Indicators (KPIs) are vital metrics for evaluating the effectiveness and efficiency of various processes within an organization, including asset and bus fleet management. They provide a quantitative basis for comparing actual performance with strategic objectives, facilitating informed decision-making and the implementation of improvements. Figure 3 shows some examples of KPIs that companies can aply to check their state.

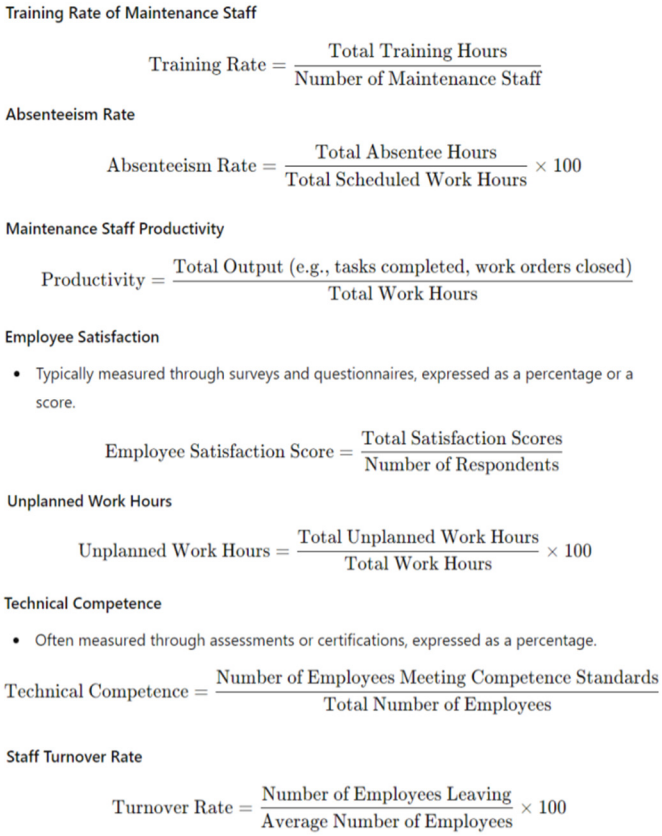


Figure 3 - KPI examples

- *Training Rate of Maintenance Staff*: measures the average number of training hours received per maintenance employee over a specific period;
- *Absenteeism Rate*: calculates the percentage of work hours lost due to unplanned absences;
- *Maintenance Staff Productivity*: assesses the amount of productive work completed per hour by the maintenance staff;
- *Employee Satisfaction*: The specific formula can vary based on the survey methodology used;
- *Unplanned Work Hours*: calculates the proportion of work hours spent on unplanned or emergency tasks;
- *Technical Competence*: The exact formula can depend on how technical competence is defined and assessed within the organization;
- *Staff Turnover Rate*: measures the percentage of employees who leave the organization over a specific period.

Organizational psychology and employee motivation and well-being are fundamental to productivity and to the effective management of physical assets in organizations. These elements are intrinsically linked to human performance and, by extension, to organizational success. It can affect directly how employees interact with physical assets and manage their responsibilities.

In a manufacturing environment, two critical indirect physical factors contributing to worker efficiency and health are adequate lighting and a clean, organized environment.

Adequate lighting is essential in a manufacturing setting as it directly affects the precision and speed of task performance. Studies have demonstrated that well-illuminated workspaces reduce the likelihood of errors and accidents, thereby enhancing productivity and safety. Proper lighting minimizes eye strain and fatigue, allowing workers to maintain focus and efficiency over extended periods. Additionally, appropriate lighting conditions can positively affect workers' mood and overall mental health, leading to increased job satisfaction and reduced absenteeism (Lin, Shen, Silfvenius, 2024; Jin, Xue, Zhang, Wang, Shi, Liang, Cao, Xu, Liao, 2023).

An organized and clean environment is equally vital for maintaining high levels of efficiency and health among workers. Clutter-free workspaces enhance operational efficiency by reducing the time needed to locate tools and materials, thus streamlining workflow processes. Furthermore, a clean environment minimizes the risk of contamination and accidents, promoting a safer workplace. Regular cleaning routines and well-maintained equipment can prevent the spread of illnesses, contributing to a healthier workforce. Moreover, a tidy and organized environment fosters a sense of pride and responsibility among workers, which can lead to improved morale and a more collaborative work atmosphere also resulting in greater well-being. These factors not only enhance productivity and safety but also contribute to the overall well-being and satisfaction of the workforce, which is essential for sustained industrial success (Costa, Reis, Andrade, 2005; Vicente, 2022, Bernardo, 2024).

This study is dedicated to evaluating the current state of a public transportation company, with a specific focus on the well-being and motivation of its employees. By examining various factors that influence worker satisfaction, this research aims to identify areas for improvement that can enhance both employee morale and the overall efficiency and quality of services provided by the company.

2. Business Framework

According to the management and accounts report of the company discussed in this article, in the year 2022, operating expenses amounted to €18.5 million and increased by 4.8% compared to 2021. Human resources represent 56.3% of the total (€10.4 million), supplies and external services, accounting for 11.9% of the total (€2.2 million, a decrease of 3.1% compared to 2020), and the cost of consumed inventories, which represents 20.5% (increase of 15.7%, influenced by the rise in the cost of diesel and in parts and other maintenance materials).
According to this company's data, the average age of its fleet (see Figure 4) was 17.4 years for diesel buses and 8.5 years for diesel minibuses.

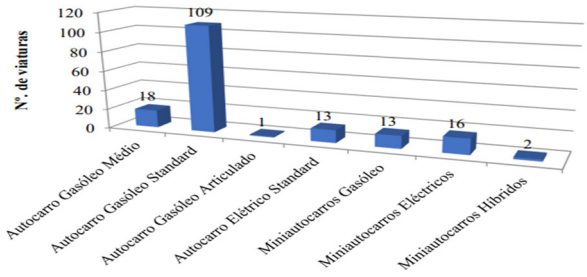


Figure 4 - Active Urban Fleet by Vehicle Type in 2022

In 2022, immobilization was once again high, with respective rates of 31.5% for buses, 17.1% for electric and hybrid minibuses, and 50.1% for diesel minibuses, thereby increasing the immobilization rate of the total fleet to 31.4%.

3. Working Situation Analysis

The company faces a series of challenges related to employee management, directly impacting motivation, productivity, and job satisfaction.

- *Remuneration:* One of the main issues identified is the fixed remuneration of employees. The remuneration of workers in the public transport sector is characterized by fixed and low salaries. These wages are perceived as unmotivating, directly affecting employee satisfaction. The absence of merit-based or individual performance salary increments leads to demotivation and reduces the desire to invest in professional growth. As part of the public sector, the company does not offer merit bonuses or additional compensation beyond the base salary. The lack of benefits and extra incentives contributes to the general demotivation of workers. Without reward mechanisms for performance or significant contribution, employees can feel undervalued, negatively impacting their productivity and engagement.

- *Working Conditions:* Moreover, the work environment presents inadequate conditions that contribute to employee dissatisfaction. Insufficient lighting and a lack of cleanliness and organization are critical points that make the workspace unpleasant. An inadequate physical environment not only affects employees' health and well-being but can also significantly reduce productivity and increase error rates.
- *Job Analysis:* Working in a mechanical workshop is physically exhausting. The strenuous nature of the work can lead to physical and mental fatigue, resulting in lower productivity and a higher risk of accidents.
- *Development and Career Opportunities:* Another relevant problem is the low possibility of career progression. Workers are hired for specific roles, such as mechanics, and lack clear prospects or opportunities for career advancement. Professional stagnation is a present reality, generating frustration and discontent. Without professional development programs or career plans, employees do not see a promising future within the company, diminishing their motivation and interest in performing their functions more efficiently and innovatively which can lead to high staff turnover, with employees seeking other companies that offer better career advancement opportunities.
- *Support and Recognition:* Communication within the company is also deficient. Although there is a good atmosphere among workers, communication between departments is deficient and non-existent with management. The lack of support and recognition from higher-ups exacerbates the feeling of undervaluation. The recognition of well-done work is practically non-existent, with no positive feedback or rewards for exceptional performance. This absence of recognition discourages employees and decreases their job satisfaction. The lack of an efficient communication flow can result in misunderstandings, rework, and a lack of cohesion among teams. This disconnect prevents the creation of a collaborative and synergistic environment, essential for any organization's success. Employees feel they have almost no autonomy and responsibility, contributing to a lack of engagement. Low empowerment means that employees do not feel valued or integral to the company's success. This feeling of undervaluation can be detrimental to morale and commitment to organizational goals.
- *Job Security and Nature of Work*: Paradoxically, job security is both an advantage and a disadvantage. Employment stability is viewed positively by employees as it reduces anxiety and the fear of layoffs. However, this same stability can lead to excessive relaxation, with employees believing they do not need to exert maximum effort since they are unlikely to be dismissed. This sense of complacency can negatively impact the company's overall productivity.
- *Supervision and Monitoring:* Supervision is also insufficient, with low oversight by superiors. The absence of rigorous supervision means that employees are not adequately held accountable for their productivity and performance. The lack of proper monitoring can lead to an environment where work is performed inconsistently and without proper attention to detail.

A holistic approach that considers all these factors will be essential to improving employee motivation, productivity, and satisfaction, leading to a more efficient and harmonious work environment.

4. Proposal

Improving employee satisfaction in a public transport company requires a comprehensive strategy that addresses key areas impacting on worker morale and productivity. Based on the identified challenges, the following strategic resolutions are proposed:

- *Enhancing Remuneration Structure:* To address the issue of low and fixed salaries, the company should introduce a more dynamic remuneration structure. This could include performance-based increments, merit bonuses, and other financial incentives that reward individual and team achievements. By aligning remuneration with performance, employees will be more motivated to excel in their roles, thereby enhancing overall productivity and job satisfaction.
- *Establishing Clear Career Development Paths:* Implementing professional development programs and clear career progression paths is crucial. The company should create training programs that equip employees with new skills and knowledge, enabling them to advance within the organization. Mentorship schemes and continuous professional development opportunities can help reduce frustration and promote a culture of growth and innovation. This will not only improve employee morale but also help retain talent within the company.
- *Improving Support and Recognition Systems:* Developing a robust system of support and recognition is essential. This involves fostering open communication channels between management and employees, as well as within and across departments. Managers should regularly acknowledge and reward exceptional performance through verbal praise, awards, or other forms of recognition. Establishing an employee recognition program can significantly enhance feelings of appreciation and value, thus boosting morale and engagement.

- *Enhancing Compensation and Benefits:* Reviewing and improving the compensation and benefits package is necessary to address employee dissatisfaction. Introducing additional benefits such as health insurance, retirement plans, and performance bonuses can make employees feel more valued and financially secure. Offering flexible working arrangements and wellness programs can also contribute to higher levels of job satisfaction and employee well-being.
- *Strengthening Supervision and Monitoring:* Implementing an effective supervision and monitoring system is crucial for maintaining high standards of performance. This can include regular performance reviews, feedback sessions, and a structured monitoring system that holds employees accountable for their productivity and output. A transparent and supportive supervision system will ensure that employees are consistently meeting performance expectations and receiving the guidance they need to improve.
- *Empowering Employees:* Increasing employee autonomy and responsibility can significantly enhance job satisfaction and operational efficiency. Empowering employees to take initiative, make decisions, and contribute to process improvements fosters a sense of ownership and accountability. This can be achieved by involving employees in decision-making processes, encouraging innovative ideas, and providing opportunities for leadership roles within teams.
- *Improving Working Conditions:* Addressing the physical working conditions is vital. The company should invest in upgrading the workplace environment to ensure it is clean, well-organized, and ergonomically safe. Improving lighting, ventilation, and overall workspace organization can reduce health risks and enhance comfort, leading to better productivity and job satisfaction. Regular maintenance and cleanliness checks should be conducted to sustain a healthy working environment.
- *Balancing Job Security and Performance Expectations:* While job security is important, it is equally critical to maintain high performance standards. The company should implement regular performance evaluations to ensure that employees remain motivated and productive. Introducing a balanced approach that combines job security with performance-based incentives can prevent complacency and encourage continuous improvement. Performance appraisals, coupled with professional development opportunities and rewards for excellence, can create a dynamic and motivated workforce.

5. Conclusions

With the implementation of the improvement proposals outlined in this study, the public transportation company is expected to achieve positive outcomes across various areas, both operationally and in terms of people management. Implementing the proposed strategic resolutions would foster a more supportive, rewarding, and efficient work environment. By addressing key factors that influence employee satisfaction, such as compensation, career development, support and recognition, benefits, supervision, empowerment, working conditions, and job security, the company can boost employee morale, reduce turnover, and improve overall productivity and service quality. These interventions are not only beneficial to the workforce but are also crucial for the company's long-term success and sustainability.

However, resistance to change, often a significant challenge in public sector organizations, where job stability and career progression are perceived as immutable factors, may further complicate the implementation of these new strategies. This resistance is exacerbated by the uneven distribution of human resources, with the workforce primarily dedicated to emergency repairs, leaving little time and space for proactive vehicle maintenance. The current state of the work environment, characterized by poor organization, appearance, and lighting, also compromises employee motivation and professionalism.

The integration of Key Performance Indicators (KPIs), Lean methodologies, Total Productive Maintenance (TPM), and 5S practices can facilitate the successful adoption of these strategic resolutions. The implementation of these practices, in addition to streamlining operations, promoting continuous improvement, and increasing overall efficiency, will encourage greater worker participation in the management and maintenance of assets. This collaborative approach will contribute to enhanced motivation and job satisfaction, as employees will feel more valued and involved in operational decisions. Significantly reducing unplanned vehicle failures will lead to less downtime and greater fleet availability, optimizing the use of the company's physical and human resources. Personalized maintenance results in fewer failures, which translates into reduced emergency repair costs, fewer spare parts and overtime hours, better work planning, higher customer satisfaction, improved employee satisfaction, and increased indirect profit. For similar reasons, the integration of Condition-Based Maintenance (CBM) and Predictive Maintenance (PdM) is a valuable asset for both the company's workforce and its profitability.

Moreover, fostering a culture where all employees are motivated and engaged will lead to increased productivity and better service delivery. Reducing fleet downtime will allow for more stable operations, minimizing the waste of financial and human resources. This efficiency will be reflected in the company's financial sustainability. The continuity and operational efficiency promoted by more proactive and effective maintenance will result in a more punctual and reliable public transport service. Reducing technical failures and delays will increase customer satisfaction, improving the company's reputation and competitiveness in the market.

By implementing practices that extend vehicle lifespan and reduce excessive fuel consumption, the company will also contribute to environmental preservation, aligning with the sustainability goals of the public transportation sector. Creating a work environment that values and invests in its human assets will position the company more favorably to tackle future challenges while continuing to provide high-quality services to its customers. These results will not only bring internal benefits to the organization but also enhance the quality of service provided to customers, generating value for the community and improving the public perception of the company. Thus, the implementation of this project will strengthen both operational efficiency and employee well-being, creating a virtuous cycle of continuous improvements and sustainability, ultimately transforming the company into a more dynamic, responsive, and successful organization.

6. Point of View

Implementing these strategic resolutions can be highly advantageous for the company by significantly boosting employee satisfaction and motivation, which directly enhances productivity and service quality. A more engaged and motivated workforce will lead to lower turnover rates, reducing recruitment and training costs. Additionally, improved working conditions and clear career development paths will attract and retain top talent, fostering innovation and continuous improvement. Overall, these changes will enhance the company's operational efficiency, customer satisfaction, and long-term sustainability, ultimately leading to increased profitability, better client recognition and a stronger market position.

The current industrial revolution and the implementation of new technologies may present an opportunity to train and provide new challenges for these workers, enabling them to feel valued and appreciated.

References

Bernardo, A. R. (2024). 5S: Casos de estudo com KPIs.

Costa, R., Reis, S., & Andrade, V. (2005). Implantação do programa 5S em uma empresa de grande porte: Importância e dificuldades. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Porto Alegre.

Francisco, M. (2010). Custos com os acidentes de trabalho nas organizações. Magazine Risco Zero, 18-20.

Hsieh, M.-J., & Chiu, S.-K. (2024). Innovative thinking in volunteer organizations: Addressing the impact of psychological ownership on volunteer organizational commitment. Systems.

ISO. (2009). ISO NP EN 15341: Indicadores de desempenho da manutenção (KPI).

ISO. (2014). ISO 55000: Asset management - Overview, principles and terminology.

Jin, L., Xue, P., Zhang, L., Wang, J., Shi, J., Liang, Q., Cao, X., Xu, N., & Liao, J. (2023). Visual and non-visual effects of integrated lighting. Building and Environment.

Khahro, Q., Zainun, N., Khahro, S., & Sultan, B. (2023). An integrated model to improve job satisfaction: A case for a sustainable construction industry. Sustainability.

Kim, S. (1996). Employee intent to stay: The case of automobile workers in South Korea (Tese de Doutoramento, University of Iowa, Iowa).

Lin, J., Shen, J., & Silfvenius, C. (2024). Human-centric and integrative lighting asset management in public. Sustainability.

Mehrez, A., & Bakri, A. (2019). The impact of human resource practices on job satisfaction and intention to stay in emerging economies: Model development and empirical investigation among high-caliber governmental employees in Qatar. Management Science Letters, 425-442.

Meng, J., & Berger, B. (2019). The impact of organizational culture and leadership performance on PR professionals' job satisfaction: Testing the joint mediating effects of engagement and trust. Public Relations Review, 64-75.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc.

Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total productive maintenance. Productivity Press.

Pinto, J. (2008). Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro. Comunidade Lean Thinking, 159.

Robinson, J. (2000). Structural determinants of job satisfaction and organizational commitment in turnover models. Human Resource Management Review, 9, 479-493.

Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. International Journal of Production Economics, 70(3), 237-244.

Toropova, A., Myrberg, E., & Johansson, S. (2021). Teacher job satisfaction: The importance of school working conditions and teacher characteristics. Educational Review, 73, 71-97.

Vicente, A. (2022). A ferramenta 5S na produção.

Zhu, Y. (2012). A review of job satisfaction. Asian Social Science, 293.

ID34
Impulsionando a melhoria continua: Implementação de uma Sala Dojo na *GrandVision*

Soraia da Silva Martins
soraia8martins@hotmail.com

Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Portucalense Infante D. Henrique, Portugal

Resumo

O presente trabalho focou na criação e implementação da Sala Dojo, um espaço multifuncional destinado à capacitação dos colaboradores, promoção da inovação e melhoria da eficiência operacional.
A metodologia envolveu várias etapas, desde o levantamento das necessidades até à simulação e testes com colaboradores de diferentes áreas. Ferramentas como Microsoft Teams, Outlook, Office, Forms e Canva foram utilizadas para facilitar a comunicação, colaboração e gestão do projeto.
Os resultados demonstraram que a Sala Dojo proporcionou um ambiente propício para o desenvolvimento profissional dos colaboradores, incentivando a inovação e promovendo a eficiência operacional. A experiência permitiu enfrentar desafios e tomar decisões cruciais para a implementação eficaz do projeto na *GrandVision*.
O projeto de estágio na *GrandVision*, centrado na Sala Dojo, foi concluído com sucesso, destacando a importância de um espaço dedicado à formação contínua. A implementação deste projeto reforça o compromisso da *GrandVision* com a excelência operacional e a capacitação profissional, essenciais para a competitividade no mercado.

Palavras-Chave: Sala Dojo; Melhoria Contínua; Formação; Capacitação; Inovação; *Lean*

1. Introdução

Este trabalho descreve o estágio curricular na *GrandVision Supply Chain* Portugal, SA, parte da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial na Universidade Portucalense Infante D. Henrique. O estágio teve a duração de aproximadamente dois meses e focou na criação e implementação da Sala Dojo, um espaço multifuncional para capacitar colaboradores e promover inovação e eficiência operacional.

2. Revisão Bibliográfica

A melhoria contínua é essencial na gestão empresarial, buscando aperfeiçoamento constante em todos os aspetos organizacionais. Segundo Anand, Ward, Tatikonda e Schilling (2009), a melhoria contínua envolve identificar oportunidades, implementar mudanças incrementais e avaliar processos e resultados. Este conceito é fundamental para aumentar a competitividade, adaptabilidade, eficiência e qualidade dos produtos e serviços (Antony, Snee & Hoerl, 2017).

2.1 Melhoria Contínua

A melhoria contínua, ou Kaizen, é um princípio central na filosofia Lean, que enfatiza a necessidade de pequenas melhorias contínuas em processos organizacionais para alcançar excelência operacional (Imai, 2012). Segundo Bessant et al. (2019), a melhoria contínua é uma prática sistemática que exige a participação de todos os níveis da organização, desde a alta gerência até os colaboradores operacionais.

2.2 Metodologias Lean

A metodologia Lean, desenvolvida a partir do Sistema de Produção da Toyota (TPS), visa eliminar desperdícios e criar valor para o cliente (Holweg, 2007). Womack e Jones (2017) destacam cinco princípios fundamentais do Lean: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição. Liker e Morgan (2020) adicionam que a formação e o desenvolvimento contínuo dos colaboradores são essenciais para a implementação bem-sucedida do Lean.

2.3 Sala Dojo e Aprendizagem Organizacional

O conceito de Dojo Room é inspirado no termo japonês "Dojo", que significa "local de prática" (Liker, 2004). Nas empresas, as Salas Dojo são espaços dedicados ao treinamento e desenvolvimento contínuo dos colaboradores, onde práticas Lean e de melhoria contínua são aplicadas de maneira prática e colaborativa (Emiliani, 2007). Empresas como a Toyota utilizam Dojo Rooms para capacitar os seus colaboradores em técnicas Lean e de resolução de problemas, promovendo uma cultura de aprendizagem contínua (Liker & Meier, 2020). A eficácia das Salas Dojo tem sido comprovada em diversos setores, desde a manufatura até serviços, como mostrado por Emiliani (2007) e Holweg (2007).

2.4 Benefícios da Implementação de Dojo *Rooms*

Estudos mostram que a implementação de Dojo Rooms pode levar a melhorias significativas na eficiência operacional e na inovação organizacional. Segundo Senge (2016), espaços dedicados ao aprendizado contínuo promovem um ambiente de trabalho mais colaborativo e inovador. Liker e Meier (2020) também destacam que esses espaços são cruciais para a adaptação rápida às mudanças e para o desenvolvimento de habilidades essenciais entre os colaboradores.

3. Metodologia e Métodos

Para o desenvolvimento do projeto de estágio, foi adotada uma metodologia estruturada e eficaz, visando atingir os objetivos estabelecidos de forma consistente. Assim, este projeto visa atingir os seguintes objetivos:

1. Capacitação dos colaboradores;
2. Fomento à inovação e colaboração;
3. Integração eficiente de novos colaboradores;
4. Padronização e melhoria contínua dos processos;
5. Cultura Organizacional orientada para o sucesso;
6. Promoção da missão da Empresa.

Para alcançar os objetivos estabelecidos pela *GrandVision* são necessárias atividades essenciais como:

1. Levantamento de necessidades;
2. *Brainstorming* sobre o fluxo e estrutura da formação;
3. Preparação e construção dos processos de produção, logística e HSE (Higiene, Segurança e Meio-Ambiente);
4. Simulação dos processos em sala;
5. Testar a eficácia da sala com colaboradores de diferentes áreas.

Quanto aos recursos utilizados, foram utilizadas ferramentas e tecnologias que facilitam a comunicação, colaboração e gestão do projeto. O *Microsoft Teams* foi utilizado como principal canal de comunicação e colaboração em equipa, enquanto o *Microsoft Outlook* foi utilizado para gerir e-mails e agendar compromissos entre a equipa. Além disso, as aplicações da *Microsoft Office*, como sejam o *Word* e *Excel* foram utilizados para análise de dados, acompanhamento das métricas de desempenho, e ainda para a elaboração dos relatórios necessários. Para preparação do cronograma foi utilizada a ferramenta *Canva* (Canva, s.d.).

Além das ferramentas e tecnologias já mencionadas, foi utilizado *Microsoft Forms* para a elaboração de um questionário destinado à zona de HSE, permitindo a recolha de informações relevantes sobre as posturas corretas e incorretas em cada área de trabalho, contribuindo assim para a promoção da segurança e do bem-estar dos colaboradores.

Adicionalmente, o *Microsoft Forms* foi utilizado para a criação de um inquérito de *feedback*, possibilitando que os colaboradores pudessem expressar as opiniões, sugestões e avaliações sobre a experiência na Sala Dojo. Esta ferramenta é fundamental para a obtenção de *insights* valiosos e para a identificação de áreas passíveis de melhoria, contribuindo para o aprimoramento contínuo do projeto e das práticas organizacionais.
A integração destes recursos tecnológicos ao fluxo de trabalho contribuiu para a eficiência e transparência em todas as etapas do projeto. Com uma metodologia robusta e recursos avançados à disposição, alcançou-se os objetivos propostos e colaborou significativamente para o avanço da organização. O projeto encalçou diversas etapas bem definidas para garantir a realização satisfatória das atividades propostas, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Atividades do Projeto

4. Resultados e Discussão

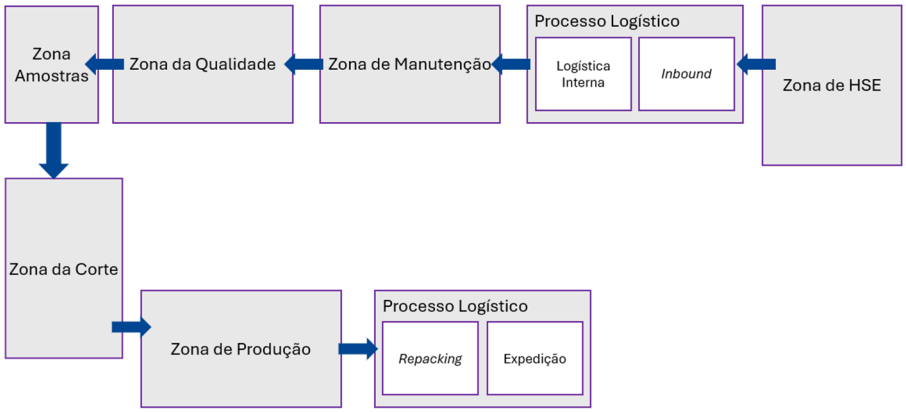
O projeto de estágio na GrandVision culminou na criação e implementação da Sala Dojo, uma iniciativa estratégica destinada à capacitação dos colaboradores e à adaptação dos novos membros aos diferentes setores da empresa. Este espaço foi fundamental para fortalecer a estrutura operacional da organização, garantindo que os colaboradores fossem treinados e orientados de acordo com os processos e procedimentos necessários para o sucesso do negócio.

4.1 Interações no *layout* da Sala Dojo

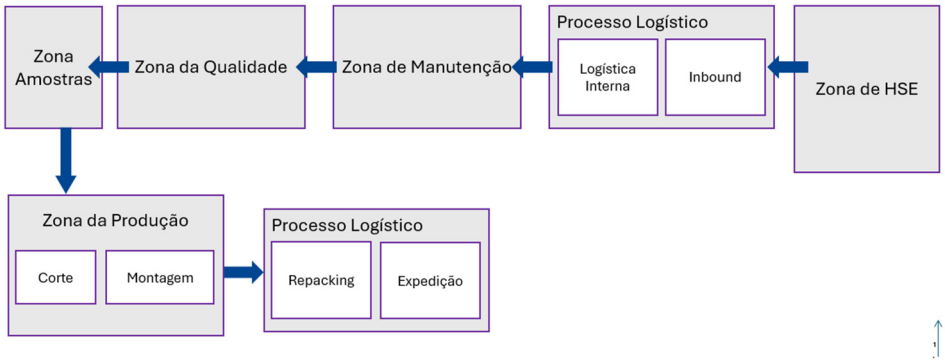
Durante o estágio, participei ativamente na definição e refinamento do layout da Sala Dojo. O layout inicial, embora bem fundamentado, passou por diversas iterações para se adaptar melhor às necessidades práticas identificadas durante a fase de implementação. O processo iterativo refletiu uma abordagem centrada no utilizador, onde cada versão do layout foi ajustada para otimizar a eficácia do espaço de formação.

O quadro a seguir apresenta as diferentes iterações dos *layout's*, destacando as mudanças.

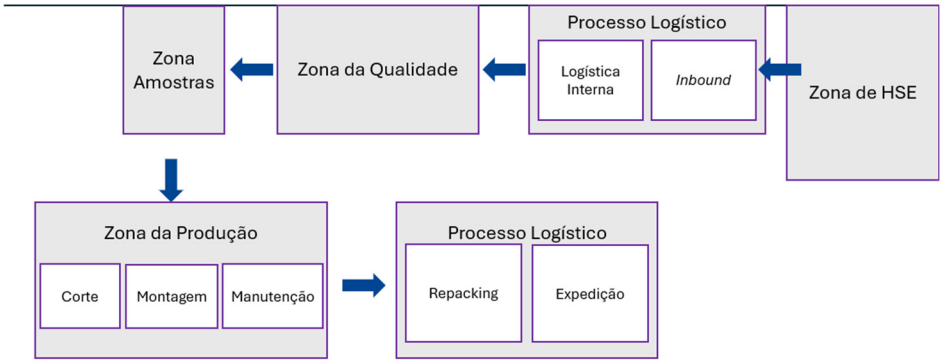
2.(a)
Versão 1



2.(b)
Versão2



2.(c)
Versão 3



2.(d)
Versão 4

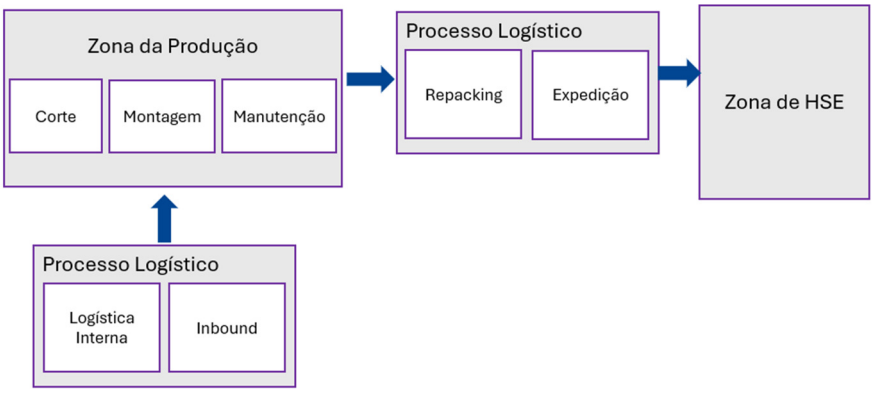


Figura 2 – Diferentes versões do layout

4.2 Capacitação e *onboarding* dos colaboradores

A implementação da Sala Dojo incluiu um plano de onboarding detalhado para novos colaboradores, com foco na área de HSE (Higiene, Segurança e Meio Ambiente). Foi desenvolvido um quizz interativo para avaliar e reforçar a compreensão das posturas corretas e incorretas durante o trabalho na produção, promovendo uma cultura de segurança.

4.3 Desafios e restrições

O estágio enfrentou desafios, como a reestruturação da empresa após a aquisição pela EssilorLuxottica e problemas informáticos na configuração dos ambientes de teste. Estas limitações levaram a um foco em três áreas principais: logística, produção e HSE. Mesmo com as restrições, foi possível desenvolver materiais de formação de alta qualidade e criar um portefólio informativo sobre os processos operacionais.

4.4 Avaliação e melhoria contínua

Foi criado um inquérito de feedback para recolher opiniões dos colaboradores sobre a experiência na Sala Dojo. Este feedback será essencial para identificar áreas de melhoria e assegurar que o espaço continue a evoluir de acordo com as necessidades dos utilizadores.

4.5 Papel dos Mentores Sensei

A decisão de incluir mentores Sensei em cada turno foi crucial para garantir a qualidade da capacitação na Sala Dojo. Os mentores desempenharam um papel essencial na orientação dos colaboradores, não só transmitindo conhecimentos técnicos, mas também promovendo uma cultura de excelência e melhoria contínua.

4.6 Conclusão dos resultados

O projeto de implementação da Sala Dojo não só atingiu os seus objetivos iniciais, como também superou desafios significativos, resultando num espaço de aprendizagem adaptável e eficaz. As práticas adotadas durante o projeto foram enriquecedoras tanto para a organização como para o meu crescimento profissional.

A imagem abaixo ilustra a configuração da Sala Dojo, mostrando o ambiente de treinamento e os recursos disponíveis.



Figura 3 – Sala Dojo

5. Conclusão

O projeto na *GrandVision Supply Chain* Portugal proporcionou uma aplicação prática valiosa dos conhecimentos adquiridos na licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial. Através da criação e implementação da Sala Dojo, foi possível observar e contribuir diretamente para a capacitação dos colaboradores e a melhoria contínua dos processos operacionais. Este projeto demonstrou a importância da aplicação de conceitos de melhoria contínua no ambiente empresarial e a capacidade de adaptação às necessidades dinâmicas da organização.

5.1 Situação atual e limitações do projeto

Apesar do sucesso alcançado, o projeto enfrentou algumas limitações significativas. O tempo restrito e os recursos disponíveis exigiram a priorização de áreas específicas, resultando na implementação inicial de apenas duas zonas do shop-floor: produção e HSE. A limitação de tempo também impactou a capacidade de recolher imagens e dados abrangentes para a criação de ferramentas formativas, como o quizz interativo. A inclusão posterior da área de logística, embora um avanço positivo, ainda deixou de fora as zonas de amostras e qualidade, que permanecem por implementar.

Outra limitação relevante foi a reestruturação da empresa após a aquisição pela EssilorLuxottica, que introduziu incertezas e desafios adicionais ao projeto, incluindo problemas informáticos na configuração dos ambientes de teste. Estes fatores influenciaram a capacidade de executar o projeto conforme planeado inicialmente e limitaram os objetivos das áreas abrangidas na Sala Dojo.

5.2 Trabalho futuro e reflexão final

Para o futuro do projeto, várias áreas de trabalho ainda precisam de ser abordadas. A prioridade imediata deve ser a implementação das zonas de amostras e qualidade na Sala Dojo, garantindo que todas as áreas críticas do shop-floor estejam contempladas. Além disso, deve-se investir na melhoria contínua das áreas já implementadas, refinando os materiais de formação, como o quizz interativo, para incluir uma gama mais ampla de cenários e práticas.

A integração de tecnologias avançadas, como realidade aumentada (AR) ou realidade virtual (VR), pode ser considerada para enriquecer ainda mais a formação dos colaboradores. Estas tecnologias podem fornecer simulações realistas dos processos operacionais, permitindo um treino mais imersivo e eficaz. Além disso, a automatização do *feedback* através de ferramentas digitais pode melhorar a rapidez e a qualidade da resposta dos colaboradores, facilitando ajustes em tempo real nos processos de formação.

Outra recomendação seria a realização de uma avaliação periódica da eficácia das práticas de formação implementadas na Sala Dojo. A criação de métricas claras para medir o impacto do treino sobre o desempenho dos colaboradores e a eficácia operacional pode fornecer dados valiosos para ajustes contínuos. Além disso, encoraja-se a recolha regular de *feedback* dos colaboradores para assegurar que o conteúdo da formação permanece relevante e adaptado às suas necessidades.

Finalmente, o projeto sublinhou a importância da adaptabilidade e da procura contínua pela melhoria. A *GrandVision* demonstrou o seu compromisso com a inovação e o desenvolvimento dos colaboradores, mas é essencial manter este impulso, especialmente à medida que a empresa continua a evoluir num mercado competitivo e em transformação. A continuidade do projeto exige não só a conclusão das áreas pendentes, mas também um compromisso permanente com a excelência, a adaptabilidade e a melhoria contínua, garantindo assim a relevância e o sucesso do projeto a longo prazo.

Esta experiência de estágio foi não só um marco pessoal e profissional significativo, mas também uma oportunidade para aplicar e expandir conhecimentos, preparando o caminho para futuros desafios na indústria.

Referências

Anand, G., Ward, P. T., Tatikonda, M. V., & Schilling, D. A. (2009). Dynamic capabilities through continuous improvement. Journal of Operations Management, 27(6), 702-715. https://doi.org/10.1016/j.jom.2009.02.001

Antony, J., Snee, R. D., & Hoerl, R. W. (2017). The role of Six Sigma in continuous improvement. International Journal of Quality & Reliability Management, 34(6), 781-796. https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2016-0162

Bessant, J., Caffyn, S., & Gallagher, M. (2019). Managing continuous improvement. International Journal of Operations & Production Management, 39(8), 1013-1036. https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2018-0160

Emiliani, M. L. (2007). The role of the Dojo in Lean thinking and practice. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 129(3), 617-626. https://doi.org/10.1115/1.2736455

Holweg, M. (2007). The genealogy of Lean production. Journal of Operations Management, 25(2), 420-437. https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.05.002

Imai, M. (2012). Kaizen: The key to Japan's competitive success. McGraw-Hill.

Liker, J. K. (2004). The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.

Liker, J. K., & Meier, D. (2020). The Toyota Way to continuous improvement: Linking strategy and operational excellence to achieve superior performance. McGraw-Hill.

Senge, P. M. (2016). The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization. Crown Business.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2017). Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Simon & Schuster.

ID35
Otimização de processos operacionais no ensaio de bicicletas: Um estudo de caso

Joana Menezes ([1]), José Torres Farinha ([1,2]), Mateus Mendes ([1,2]), Gil Nadais ([3])
joana.menezes@bikinnov.pt, tfarinha@isec.pt; mmendes@isec.pt; gil.nadais@abimota.pt

([1]) Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Rua Pedro Nunes - Quinta da Nora, 3030-199 Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+- RCM2+ - Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas, Coimbra, Portugal
([3]) ABIMOTA, Águeda, Portugal

Resumo

O presente artigo tem como objetivo descrever o projeto de melhoria realizado no Laboratório de Mobilidade da ABIMOTA focado, essencialmente, na otimização do processo de montagem do ensaio de fadiga ao quadro de bicicleta com forças de pedalar. Adotar uma abordagem de diagnóstico sucinta, através da aplicação de várias ferramentas *Lean*, foi um marco importante, pois possibilitou a correta caracterização da situação atual. Segundo os estudos partilhados e a análise de dados efetuada foi possível evidenciar a importância da filosofia *Lean*. O resultado principal prende-se, essencialmente, com a sugestão de implementação de um conjunto de iniciativas que potenciam a eficiência operacional.

Palavras-Chave: *Lean manufacturing*, ferramentas *Lean*, otimização de processos, bicicletas.

1. Introdução

O ensaio de bicicletas é importante para a avaliação da conformidade das bicicletas e dos componentes produzidos, assegurando a segurança dos consumidores. Neste âmbito, a ABIMOTA detém um número significativo de ensaios acreditados, destacando-se o ensaio ao Quadro - Fadiga com forças de pedalar, integrado no Laboratório de Mobilidade.
O projeto apresentado neste artigo tem o objetivo de otimizar o respetivo fluxo operacional e as atividades relacionadas com a montagem deste ensaio. A realização de estudos de melhoria nesta área é considerada um objetivo relevante, na medida em que possibilita à entidade a redução dos custos associados, através da identificação e/ou eliminação das atividades redundantes e a otimização dos processos existentes.

A indústria global das bicicletas tem passado por uma transformação significativa, nos últimos anos, impulsionada por uma série de fatores, incluindo mudanças nas preferências do consumidor, avanços tecnológicos e uma crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental (Jenkins et al., 2022). Esta evolução tem sido particularmente marcante no mercado europeu, onde a bicicleta para além de ser vista como um meio de transporte, passa também a ser considerada parte integrante da cultura e do estilo de vida (Intelligence, 2024). Desde 2019 que Portugal tem ocupado o primeiro lugar na indústria europeia, no que respeita à produção de bicicletas, refletindo assim o crescente compromisso para com a mobilidade sustentável, seguindo as tendências globais em direção a veículos mais ecológicos. Um indicativo notável desse, revela que, em 2022, o setor das duas rodas em Portugal produziu mais de dois milhões de unidades (Eurostat, 2023). Neste seguimento, o estudo inicia-se com uma análise pormenorizada dos dados relativos aos serviços prestados nos últimos quatro anos, visando identificar os ensaios mais frequentes e os que mais contribuem para a faturação. Procedeu-se a uma avaliação minuciosa dos processos, que incluiu, num momento inicial, um mapeamento dos fluxos dos processos e o estudo de métodos e tempos. Com base na informação obtida, propuseram-se soluções com o intuito de melhorar a eficiência operacional e racionalizar o orçamento. Espera- se que os resultados possam contribuir significativamente para a eficiência, produtividade e satisfação no trabalho, promovendo também o envolvimento da entidade num mundo cada vez mais digital e tecnológico.

2. Revisão da literatura

2.1. Lean

O Lean é uma filosofia que tem como objetivo auxiliar as entidades organizacionais a reconhecer e a erradicar, de forma sistemática, as tarefas e procedimentos que impactam o seu desempenho (Fraga, 2014). Este conceito teve origem no Japão, aquando do Toyota Production System (TPS) desenvolvido por Taiichi Ohno. Através das diferentes técnicas, ferramentas e metodologias, esta filosofia é entendida como uma postura comportamental, ou seja, um modo pelo qual os colaboradores de uma entidade raciocinam e procedem face

ao pretendido (Silva, 2008). Custódio (2013) afirma que a gestão Lean centra-se, essencialmente, na redução e eliminação de oito fontes de desperdícios. Esta ação, não só permite potenciar a qualidade dos produtos/serviços efetuados, mas também melhorar os tempos de execução e custos associados. Paralelamente, é importante mencionar que o modelo de produção Lean é caracterizado pela melhoria dos seguintes aspetos: fiabilidade, flexibilidade e velocidade. Para o efeito, são adotadas determinadas estratégias com vista à especialização das pessoas nas respetivas tarefas.

2.2. Ferramentas Lean

As Lean tools (em português, designado por ferramentas Lean) são o resultado de inúmeras investigações ao longo dos anos, sendo elas parcialmente interdependentes uma das outras. De acordo com Pereira et al. (2019), Pereira (2017), Kulkarni et al. (2014) e Custódio (2013), efetua-se a respetiva caracterização:

- 5S: corresponde a uma metodologia estabelecida no Japão que, quando implementada, reduz o desperdício de recursos e aumenta os níveis de produção, proficiência e organização. A palavra "5S" reflete cinco sensos, ou seja, formas de atuar;
- Análise de gargalos (ou seja, o "Bottleneck"): consiste na análise dos tempos de ciclo associados a cada máquina ou tarefa. Tem a principal finalidade de identificar o(s) ponto(s) "menos positivo(s)" ou alvo de melhoria(s), analisar meticulosamente e definir ações, de forma a aperfeiçoar o respetivo desempenho;
- Desperdício (MUDA): centra-se, essencialmente, em reduzir e eliminar tudo o que, no processo de fabrico, não acrescenta valor ao produto na perspetiva do cliente (e que é considerado um desperdício);
- Standard Work: corresponde ao estudo e implementação das melhores práticas conhecidas até ao momento de análise. O trabalho padronizado contempla um conjunto de atividades obrigatórias e respetiva sequência, garantindo assim que, independentemente do operador, a tarefa é desenvolvida da mesma forma. É importante salientar ainda que este tipo de ferramenta é composto por quatro elementos:
    - Takt time: referente ao ritmo a que os produtos devem ser fabricados ou o serviço executado, de forma a satisfazer atempadamente a procura dos clientes;
    - Sequência de trabalho: que deverá corresponder exatamente às tarefas efetuadas pelo operador, dentro do tempo de ciclo;
    - Inventário: referente a todo o material necessário para manter o bom funcionamento do processo (inclui os postos de trabalho das máquinas);
    - Destreza do operador e a capacidade de manobra da máquina ou do sistema.
- Kaizen: significa "melhoria contínua". Esta ferramenta é bastante abrangente e tem como objetivo a implementação de ferramentas de melhoria contínua, com vista à correção de problemas específicos. O seu foco centra-se, essencialmente, na redução de custos, melhoria da qualidade e entrega de produtos eficiente;
- Ciclo PDCA: também conhecido como o "ciclo de Deming", é uma ferramenta de que permite definir, acompanhar e monitorizar qualquer ação que se pretenda desenvolver. É composta por quatro palavras, justificativas na sua nomenclatura, sendo elas:
    - Plan (Planear): nesta etapa deve-se estabelecer os objetivos e elaborar o plano de ações, de forma que os mesmos se concretizem;
    - Do (Executar): consiste em executar o plano definido anteriormente;
    - Check (Verificar): consiste em recolher e analisar os resultados/dados obtidos anteriormente na execução;
    - Act (Atuar): nesta fase, dever-se-ão definir novas ações de melhoria (se necessário), registar resultados obtidos e consolidar todo o processo.
- Gráfico de Pareto: auxilia na identificação, análise de problemas e determinação das principais causas-raiz. O princípio de Pareto afirma que 80% das consequências advêm de 20% das causas. Pereira (2017) utiliza a categorização A, B, C, sendo que:

- Classe A: cerca de 20% dos artigos de uma entidade correspondem a 80% dos defeitos encontrados;
- Classe B: cerca de 15% dos defeitos encontrados fazem corresponder a cerca de 30% dos artigos da organização;
- Classe C: cerca de 5% dos defeitos encontrados numa organização correspondem a 50% dos produtos.

Considerando a realidade em questão, este princípio serviu de base para a abordagem de diagnóstico efetuado inicialmente.

2.3. Casos de implementação de Lean

Procurou-se efetuar uma pesquisa acerca da aplicabilidade das diversas ferramentas Lean. Isto é fundamental não só para a perceção das práticas mais eficazes e inovadoras, mas também para adaptar soluções que se ajustem às necessidades e desafios de cada realidade organizacional, promovendo assim melhorias sustentáveis. Neste sentido, apresentam-se os seguintes exemplos:

- Pereira et al. (2019), através do seu estudo de melhoria contínua numa indústria de fabricação de moldes, conseguiram averiguar que as principais contribuições para os tempos de paragem eram, essencialmente, originadas por: indisponibilidade do operador (cerca de 16,4%), programação da máquina (14,4%) e troca de ferramentas (12,4%). Quanto às máquinas foi possível constatar também que, por um lado, uma proporção significativa das máquinas que estão em funcionamento opera abaixo do estado médio ideal, por outro lado, é evidenciado que um número considerável de máquinas excede o tempo esperado em setup, evidenciando-se um desequilíbrio na produção, sendo originado pelo planeamento incorreto das tarefas. Como ação de melhoria, os autores implementaram um conjunto de ferramentas Lean, como a metodologia 5S, SMED, Gestão Visual e Standard Work, resultando numa melhoria significativa de cada máquina em cerca de 20%.
- Costa et al. (2008) evidenciaram, num momento inicial do projeto de melhoria, integrado numa linha de montagem descrita de produção de autorrádios para automóveis, vários problemas relacionados com falta de organização, arrumação dos postos, falta de procedimentos sistemáticos e normalizados. Através da implementação de várias ferramentas Lean, tais como 5S, SMED, Standard Work, entre outras, foi evidenciado uma melhoria dos tempos de execução de 60%, aproximadamente.
- Nguyen & Nguyen (2023) efetuaram a aplicação da abordagem DMAIC (em português, designado por Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar) de algumas ferramentas de apoio numa entidade especializada no fabrico de todos os tipos de produtos plásticos. Inicialmente, através da adoção da Lei de Pareto e, posteriormente, do Diagrama de Ishikawa, foi possível identificar o problema que ocorre com maior frequência, bem como as principais causas-raiz associadas. Dando continuidade à metodologia DMAIC e, após a análise e implementação das práticas 5S e de Gestão Visual, observou-se uma melhoria substancial nas condições do ambiente de trabalho, contribuindo eficazmente para a prevenção e redução de defeitos no funcionamento do processo e dos desperdícios a eles associados.

3. Metodologia

Numa primeira fase, com o objetivo de caracterizar a situação atual, efetuou-se a análise dos dados dos ensaios existentes no sistema, quer em termos de faturação quer de frequência (quantidades). A nível de faturação, os dados reportam o valor da fatura emitida ao cliente. Quanto à análise de quantidades poderão adotar-se duas formas de análise:

1. Unidades referentes ao número total de ensaios efetuados (Pack: agrega vários ensaios e é registado apenas um relatório): são quantificados todos os ensaios contemplados nos packs (no caso das bicicletas, existe mais do que um ensaio por processo ou serviço);
2. Quantidades de Pedidos de Assistência Técnica (PATs), retiradas das diferentes bases de dados dos laboratórios – os valores apenas refletem os números de processos efetuados e respondem a apenas um relatório (como o caso das bicicletas). Estes podem contemplar:
   - Apenas um ensaio ou;
   - Pack e um ensaio ou;
   - Pack e diferentes ensaios.

Para uniformizar a análise em todos os departamentos da entidade, considerou-se nesta triagem inicial o número de PATs criadas. Neste sentido, o processo de recolha passou por uma análise dos dados existentes no sistema de informação e nas diferentes bases de dados. Os departamentos alvos de análise foram os seguintes:

- Laboratório de Mobilidade (LM ou LV): como mencionado anteriormente, está vocacionado para a realização de ensaios a produtos do setor das duas rodas e mobilidade suave;
- Laboratório de Metrologia (LD): presta serviços de calibração e efetua ensaios dimensionais;
- Laboratório de Superfícies ou Revestimentos (LS): realiza ensaios de caraterização das superfícies e de revestimentos de materiais, nomeadamente o seu acabamento superficial;
- Laboratório de Materiais (LE): dedica-se à realização de ensaios para determinação das características mecânicas dos materiais;
- Laboratório de Produtos (LP): está vocacionado para a realização de ensaios a produtos diversos, por exemplo, medição de ruído em veículos motorizados, fechaduras, puxadores e muitos outros;
- Laboratório de Produtos Químicos (LQ): dedica-se à realização de variados ensaios nas áreas de águas residuais, ruído e acústica, ambiente e de higiene e segurança no trabalho.

3.1. Análise geral dos resultados

De acordo com a informação recolhida e, após confirmação com os responsáveis dos diferentes departamentos, constatou-se que, ao longo dos últimos quatro anos, o laboratório que apresenta maior peso significativo é o de Mobilidade. Em contrapartida, considera-se que o laboratório de Metrologia é o que apresenta maior frequência na realização dos serviços, (Figura 1).

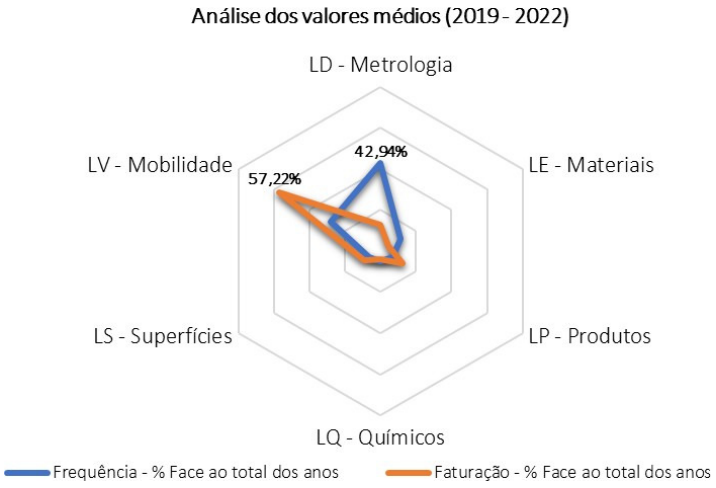


Figura 1 - Análise dos valores médios de serviços por departamento (2019-2022).

3.2. Análise de correlação

Direcionando a análise para o Laboratório de Mobilidade, considerou-se uma abordagem válida o facto de analisar a correlação entre duas variáveis (faturação e frequência). Para estas foram considerados um total de 32 525 ensaios (relativos ao número total de ensaios efetuados - packs) e 1 778 804,70 Euros faturados, correspondentes aos dados dos últimos quatro anos reportados pelo sistema informático.
Verifica-se no gráfico da Figura 2 que a equação da regressão linear é dada por: y = 50,061x + 156,84.

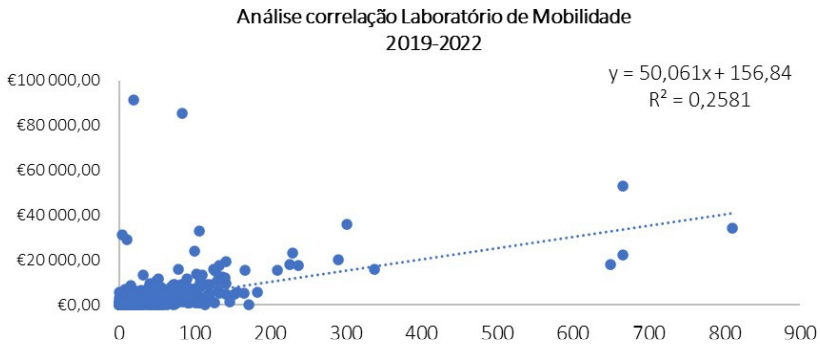


Figura 2 - Análise de correlação entre variáveis.

O coeficiente linear (b) é 156,84. Significa que, quando não existem quantidades solicitadas (x = zero), a quantidade faturada (y) esperada será de 156,84 Euros. Este valor pode ser interpretado como o custo médio fixo pela realização de cada ensaio.
O coeficiente angular (a) é 50,06. Indica que, para cada unidade adicional na quantidade solicitada (x), a quantidade faturada (y) aumenta, em média, 50,06 Euros/ensaio. Portanto, este coeficiente representa a taxa de variação existente na quantidade faturada, sempre que à quantidade ensaiada é adicionada uma unidade.

O coeficiente de correlação (r) apresentado é de 0,5080. Este valor situa-se entre -1 e 1, sendo que:

- Valor 1: indica uma correlação positiva perfeita;
- Valor 0: indica a ausência de correlação linear;
- Valor -1: indica uma correlação negativa perfeita.

Neste caso, o valor de 0,5080 indica uma correlação positiva moderada entre as duas variáveis. Significa, de um modo geral, que:

- À medida que a quantidade aumenta, a quantidade faturada também tende a aumentar;
- A relação entre as duas variáveis não é extremamente forte, mas ainda é significativa;
- Existe uma relação moderada e positiva entre as quantidades ensaiadas e faturadas, associadas aos dados do laboratório de Mobilidade.

3.3. Análise intralaboratorial

Procedeu-se à análise das subfamílias inerentes ao laboratório de Mobilidade, quer em termos de faturação quer em termos de frequência. É possível concluir que os ensaios efetuados neste laboratório com maior taxa de solicitação e faturação são os associados às bicicletas e aos seus componentes (LV.001), (Figuras 3-4).

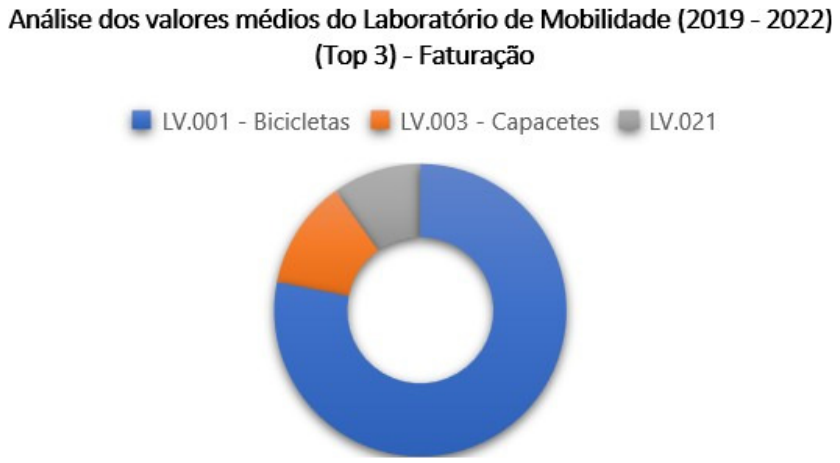


Figura 3 - Análise dos valores médios dos últimos anos associados à faturação dos ensaios.

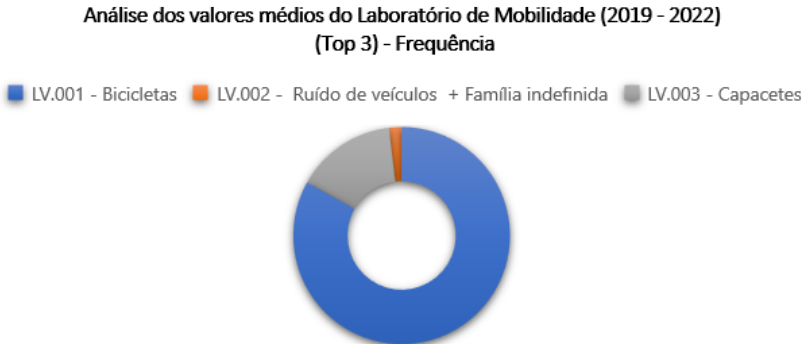


Figura 4 - Análise dos valores médios dos últimos anos associados à frequência dos ensaios.

Em jeito de conclusão afirma-se que o projeto teve como foco os ensaios às bicicletas (LV.001).

3.4. Identificação dos ensaios a analisar

3.4.1 Análise e seleção por frequência e volume de faturação

O número total de ensaios às bicicletas registados foi de 26 215, correspondendo a 1 272 181,03 Euros. De forma a concentrar os esforços nos ensaios com maior relevância na entidade procurou-se aplicar a regra 80/20 de Pareto. Considerando este caso prático, o princípio apresentado indica que cerca de 80% da faturação ou frequência poderá ser proveniente de 20% dos tipos de ensaio. Neste seguimento, para cada percentagem calculada atribuiu-se, posteriormente, uma classificação ABC, sendo que:

- Classificação A: valores acumulados até 80%;
- Classificação B: valores acumulados compreendidos entre 80% e 95%;
- Classificação C: valores acumulados superiores a 95%.

A análise dos dados (Figura 5) revela alguns padrões distintos. Destacam-se duas categorias principais: as bicicletas de montanha e as de cidade ou passeio, representando mais de 50% da faturação e das quantidades de bicicletas ensaiadas. Contudo, considerando os tipos de bicicleta: montanha, cidade ou passeio, EPAC e criança pode-se verificar que, em conjunto, representam mais de 80% da faturação e frequência registada. Estes modelos de bicicleta destacam-se como sendo os principais contribuintes para o desempenho global.

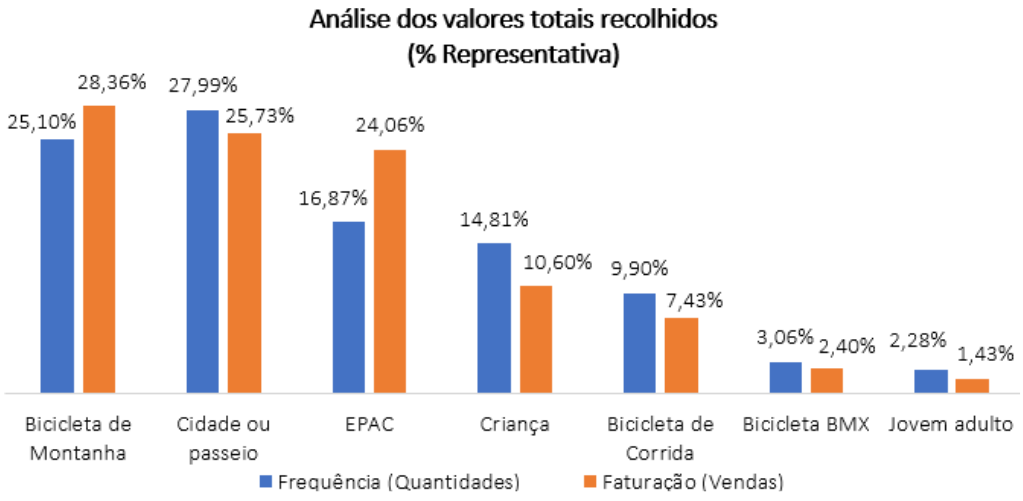


Figura 5 - Análise percentual dos dados recolhidos por tipo de bicicleta.

Quanto ao tipo de componente ensaiado, verifica-se um total de 17 tipos de componentes ensaiados nestes últimos quatro anos. Existe uma categoria (designada por: "Não é um componente") que apresenta um número razoável de frequência. Contudo, verifica-se que os ensaios efetuados à bicicleta, quadro, forqueta, guiador, sistema de travagem e crank (ou crenque) são os que representam maior peso significativo (cerca de 80%), em termos de faturação. Em contrapartida, face à variável "Frequência" os componentes representativos de 80% das quantidades totais ensaiadas são: bicicleta, quadro, forqueta, sistema de travagem, guiador, rodas, selim e espigão (Figura 6).

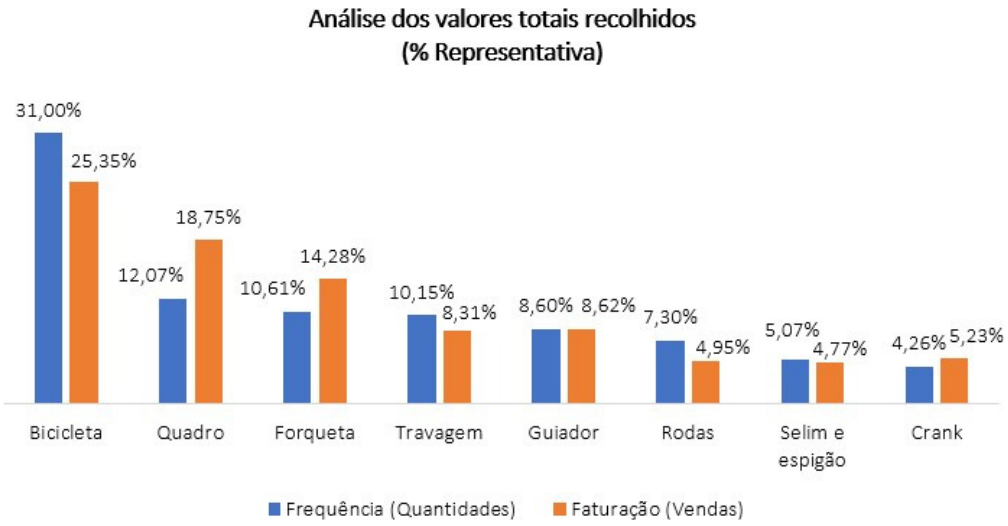


Figura 6 - Análise percentual dos dados recolhidos por tipo de componente (80%).

Considerando, nesta situação, a variável "Faturação" como sendo a decisiva, procurou-se analisar os ensaios significativos (80%). Para o efeito, filtraram-se os componentes representativos, sendo obtida a informação de que os ensaios ao modelo completo (Bicicleta EPAC), os ensaios de fadiga com forças horizontais e os ensaios de fadiga ao quadro com forças de pedalar são os primeiros "três" mais representativos (Tabela 1).

Tabela 1 - "Top 5" dos ensaios pertencentes a 80% da faturação.

TIPO DE BICICLETA	% FATURAÇÃO (VENDAS)
Ensaios ao modelo completo - Bicicleta EPAC	8,32%
Quadro: Ensaio de fadiga com Forças Horizontais	7,82%
Quadro: Ensaio de fadiga com Forças de Pedalar	6,77%
Conjunto Guiador e Espigão do Guiador - Ensaio de Fadiga	6,72%
Performance de travagem	5,08%

3.4.2. Análise e seleção dos ensaios por cliente

Face ao exposto anteriormente, na Tabela 4 é possível concluir que os clientes 10, 12, 13, 14 e 15, apesar de não serem tão relevantes no que respeita ao número de ensaios solicitados (Classificados como clientes B), a nível de faturação têm, efetivamente, um peso significativo.

Tabela 4 - Tabela comparativa: quantidades vs vendas (2019-2022).

CLIENTES EM ANÁLISE	VENDAS 80%		QUANTIDADES 80%	
Cliente 1	29,64%	A	42,18%	A
Cliente 2	39,94%	A	53,64%	A
Cliente 3	46,17%	A	67,10%	A
Cliente 4	51,07%	A	63,42%	A
Cliente 5	55,82%	A	59,35%	A

CLIENTES EM ANÁLISE	VENDAS 80%		QUANTIDADES 80%	
Cliente 6	60,36%	A	76,13%	A
Cliente 7	64,87%	A	80,87%	A
Cliente 8	68,38%	A	70,34%	A
Cliente 9	71,86%	A	73,38%	A
Cliente 10	73,54%	A	85,48%	B
Cliente 11	75,15%	A	78,80%	A
Cliente 12	76,76%	A	89,88%	B
Cliente 13	78,24%	A	91,38%	B
Cliente 14	79,64%	A	86,87%	B
Cliente 15	81,03%	B	88,00%	B

3.4.3. Crescimento de clientes

Para o cálculo da taxa de crescimento analisaram-se os valores faturados a cada cliente ao longo do período em análise. A partir destes foi possível verificar que apenas 44% dos clientes evidenciaram aumento no volume de vendas (Figura 8).

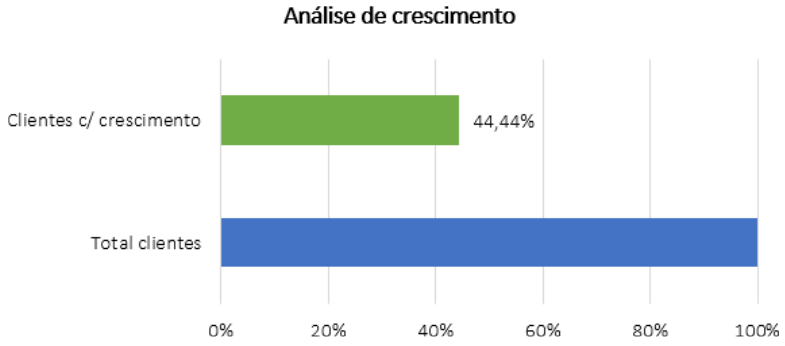


Figura 8 - Análise crescimento clientes (2019-2022).

De forma a selecionar os clientes com prestação satisfatória ao longo do período de análise, procedeu-se novamente à aplicação da teoria de Pareto. Através das variáveis analisadas até ao momento é possível concluir que deverão ser considerados, nesta fase inicial, os 13 clientes apresentados na Tabela 5. Salienta-se que as percentagens apresentadas são cumulativas e a classificação ABC encontra-se, de igual modo, apresentada.

Tabela 5 - Clientes com prestação satisfatória no período de análise.

CLIENTE	*PARETO* (QTD. %)		*PARETO* (VENDAS %)		*PARETO* (CRESC. %)	
Cliente 1	42,2%	A	29,6%	A	63,2%	A
Cliente 2	53,6%	A	39,9%	A	34,2%	A
Cliente 3	63,4%	A	51,1%	A	49,4%	A
Cliente 4	67,1%	A	46,2%	A	1,0%	B
Cliente 5	70,3%	A	68,4%	A	68,6%	A
Cliente 6	73,4%	A	71,9%	A	66,0%	A
Cliente 7	80,9%	A	64,9%	A	56,4%	A
Cliente 8	82,5%	B	82,4%	B	71,2%	A
Cliente 9	89,9%	B	76,8%	A	73,6%	A
Cliente 10	91,4%	B	78,2%	A	78,6%	A
Cliente 11	93,2%	B	90,4%	B	77,0%	A
Cliente 12	94,2%	B	91,0%	B	75,3%	A
Cliente 13	98,3%	C	91,5%	B	80,3%	A

Direcionando a análise para estes clientes e, ao efetuar uma nova análise comparativa, entre ambas as abordagens, é possível concluir que:

- Os 13 clientes analisados correspondem a 80% do crescimento total evidenciado, 91,5% da faturação e 98,3% das quantidades ensaiadas;
- Os valores referentes às frequências e volume de faturação diferem, na maioria dos casos, quanto à importância significativa;

- Num primeiro momento evidenciaram-se 32 tipos de ensaios representativos de 80% das vendas e, numa segunda fase, através da análise por clientes, evidenciaram-se 33 tipos de ensaios;
- Os ensaios ao modelo completo (Bicicleta EPAC), os ensaios de fadiga com forças horizontais e os ensaios de fadiga ao quadro com forças de pedalar são também dos mais representativos.

Em reunião com a equipa do laboratório, decidiu-se focalizar o projeto no seguinte ensaio:

- Quadro: Ensaio de fadiga com Forças de Pedalar.

Considera-se importante registar a nota de que quanto à abordagem pela faturação, os ensaios de fadiga ao quadro com forças de pedalar representam maior peso, comparado com a análise por clientes.

3.5. Estudo de métodos e tempos

De forma a obter uma "visão macro", decidiu-se efetuar o mapeamento do processo associado à montagem do banco de ensaio. Neste sentido, realizou-se o acompanhamento das atividades relacionadas e, posteriormente, a filmagem da montagem do ensaio de fadiga com Forças de Pedalar (no banco LV93-00). Abaixo, apresenta- se um diagrama onde é possível verificar, de um modo geral, o fluxo existente desde a receção até ao retorno ou eliminação do material ensaiado (Figura 9).

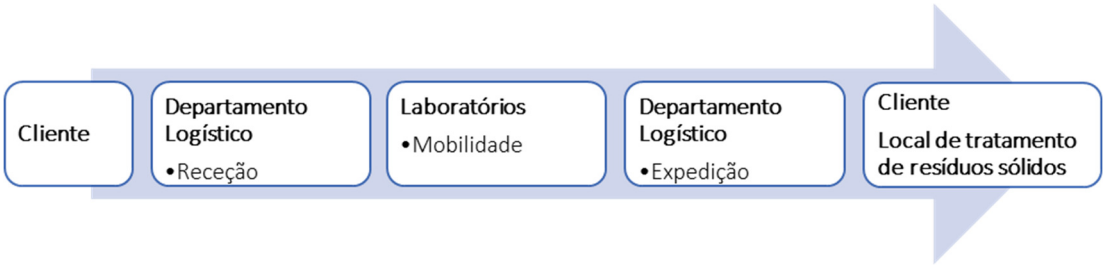


Figura 9 - Diagrama com visão geral (desde a receção até ao retorno/eliminação do material ensaiado)

Posteriormente, procedeu-se ao estudo de métodos e tempos, com o recurso a uma câmara de vídeo. Este equipamento possibilitou a gravação integral da montagem do ensaio, facilitando a análise de todas as operações. Outra vantagem associada deve-se ao facto de possibilitar a revisão das ações gravadas.

3.5.1 Análise e discussão de resultados

Após a análise das filmagens verificou-se que as mesmas divergiam face ao técnico que se encontrava a realizar o ensaio, influenciando o fluxo e a identificação de atividades em causa.
Dado que este é o primeiro estudo de melhoria e é do interesse da entidade prosseguir com ele num futuro próximo, foram consideradas como atividades de Valor Acrescentado (VA) aquelas relacionadas com o ensaio. Paralelamente, as atividades Sem Valor Acrescentado (NVA) correspondem às deslocações, procuras de material e certas preparações consideradas desnecessárias. Reconhece-se que podem existir momentos em que certas atividades são parte integrante de outras, no entanto, visto que os técnicos não seguem um fluxo standard, nem sempre é fácil identificar a atividade-chave em questão. Contudo, visto que o objetivo principal, neste momento, é obter uma visão abrangente da situação atual, importa documentar as tarefas realizadas.
Após a filmagem e análise dos ensaios verificou-se que cerca de 31% das atividades efetuadas correspondem a atividades sem valor acrescentado (NVA) (Figura 10).

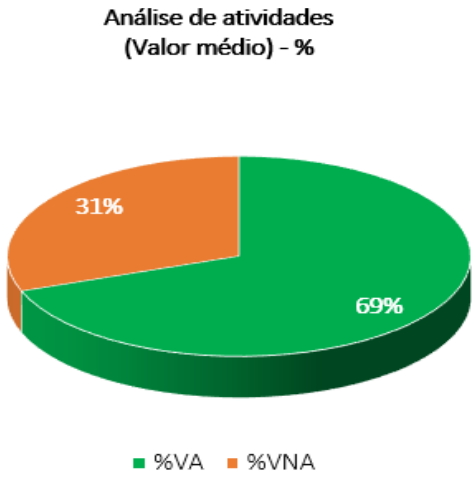


Figura 10 - Análise de atividades (VA vs NVA).

Relativamente ao desvio padrão é possível identificar atividades com elevada variabilidade. Neste sentido, seria importante analisar pormenorizadamente as atividades e definir um standard para as mesmas. Adianta-se que, para proteção e preservação da confidencialidade dos dados de ensaio da entidade, os tempos são divulgados de forma percentual. Verifica-se que cerca de 70% do tempo é representativo de atividades de valor acrescentado (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de tempos.

Nº.	Descrição da atividade	Desvio padrão/média	Tempo médio (%)
		38,1%	100,0%
0	Atividade introdutória	**200,0%**	0,1%
0	Atividade introdutória	**200,0%**	2,3%
1	**Atividade 1**	**46,1%**	17,1%
1.1	Atividades VA	**42,7%**	13,1%
1.2	Atividades NVA	**64,4%**	4,0%
2	**Atividade 2**	**77,3%**	33,2%
2.1	Atividades VA	**72,3%**	19,6%
2.2	Atividades NVA	**86,6%**	13,7%
3	**Atividade 3**	**52,7%**	23,2%
3.1	Atividades VA	**55,2%**	18,0%
3.2	Atividades NVA	**66,7%**	5,2%
4	**Atividade 4**	**50,9%**	10,8%
4.1	Atividades VA	**46,2%**	7,8%
4.2	Atividades NVA	**77,0%**	3,0%
5	**Atividade 5**	**74,0%**	5,0%
5.1	Atividades VA	**71,3%**	4,0%
5.2	Atividades NVA	**85,5%**	1,0%
6	**Atividade 6**	**45,0%**	5,9%
6.1	Atividades VA	**43,3%**	5,0%
6.2	Atividades NVA	**103,1%**	0,9%
7	**Atividade 7**	**43,8%**	2,2%
7.1	Atividades VA	**52,1%**	1,8%
7.2	Atividades NVA	**103,8%**	0,4%

Na Figura 11 é possível verificar que tempo "médio" pré-definido internamente (isto é, o Tempo Padrão definido) para a realização da operação alvo de estudo (montagem do banco de ensaio), é de 4% face ao tempo total.

Tempo total: Ensaio de fadiga quadro - FP	100%
Montagem - Ensaio fadiga quadro - FP	3,9%
Realização - Ensaio fadiga quadro - FP	94,1%
Desmontagem - Ensaio fadiga quadro - FP	2,0%

Figura 11 - Tempo "médio" definido para o ensaio.

De acordo com a análise dos dados cronometrados e considerando o Fator de Tolerância de 20% (Martins & Laugeni, 2017), é possível verificar que:

- Não existindo um método ou abordagem disponível para analisar a velocidade média do operador assume-se que o tempo de ciclo é equivalente ao tempo normal.

O Tempo Padrão para a montagem do banco de ensaio deverá ser representativo de 120% do tempo de ciclo registado (Figura 12).

Tempo de ciclo	100%	
Tempo normal	100%	
Fator de tolerância (médio na literatura)	20,00%	
Tempo padrão	120%	minutos

Figura 12 - Cálculo do tempo padrão.

Face à análise do tempo padrão definido verifica-se, após o estudo de métodos e tempos que, em média, os técnicos utilizam apenas cerca de 70% do tempo estipulado para o ensaio. Reconhece-se que ensaio não decorre sempre com a mesma fluidez; contudo, salienta-se que existe margem para a realização de outras atividades associadas ao processo.

4. Conclusões

A execução deste projeto proporcionou uma análise cuidada ao processo de montagem do ensaio do quadro de fadiga com forças de pedalar. Através da aplicação da lei de Pareto foi possível, numa fase inicial, identificar e priorizar os ensaios mais impactantes, direcionando os esforços para os ensaios com efeito marcante na eficiência organizacional. Posteriormente, a análise de métodos e tempos permitiu identificar as várias atividades que não adicionam valor na ótica do cliente, tais como deslocações e procuras de material. A observação das filmagens demonstrou ser benéfica, na medida em que possibilitou uma análise mais clara, sucinta e permitiu verificar a necessidade em estabelecer Standard Works, de forma a garantir que as atividades são executadas sempre na mesma sequência, independentemente do técnico.
Através das pesquisas associadas aos casos de estudo foi possível validar que a ferramenta 5S é, indubitavelmente, a base para a organização institucional. Neste sentido recomenda-se, para a fase seguinte, que se defina na entidade um plano de ações (através da utilização de uma das ferramentas Lean, designada por ciclo PDCA), com o objetivo de promover a melhoria contínua e aumentar a eficácia na execução das atividades. Estas iniciativas preparam a entidade para estudos futuros mais pormenorizados e rigorosos, por exemplo, a sugestão de implementação da metodologia 5S surge como resposta à dificuldade existente em garantir um ambiente de trabalho organizado, limpo e seguro. Por outro lado, a criação de um Standard Work para o ensaio em questão é considerada crucial, na medida em que promove a consistência na execução da montagem, facilitando, no futuro, as análises de reprodutibilidade e outros estudos de melhoria. Sugere-se a verificação da aplicabilidade de aparafusadoras elétricas/pneumáticas, no lugar de algumas das utilizadas, potenciando assim uma melhoria do tempo de ciclo de montagem.
Nesta fase é importante estabelecer uma base sólida que facilite o crescimento sustentável da entidade e potencie a sua posição estratégica e competitiva na indústria das bicicletas em Portugal e, perspetiva-se também, no estrangeiro.

Em conclusão, sugere-se que outras organizações do setor das bicicletas ponderem a adoção de abordagens semelhantes, na medida em que demonstram ser extremamente eficazes na obtenção de resultados mais eficientes. No entanto, a adoção destas melhorias não está isenta de desafios. Obstáculos organizacionais, como a resistência à mudança por parte dos colaboradores e a escassez de conhecimento especializado face às metodologias Lean, podem obstruir o avanço. Para ultrapassar esses obstáculos, é essencial uma liderança robusta que fomente uma cultura de melhoria contínua e inovação. Além disso, o investimento em formação contínua e a inclusão dos colaboradores no processo de mudança são cruciais para facilitar a transição para novas práticas laborais.
Outro aspeto relevante é o impacto económico e ambiental das melhorias sugeridas. A minimização do desperdício e a otimização dos processos não só elevam a eficiência produtiva como também promovem a sustentabilidade, reduzindo assim o consumo de recursos.

Referências

Costa, P., Alves, A., & Sousa, R. (2008). Implementação Da Metodologia Quick Changeover Numa Linha De Montagem Final De Auto-Rádios: Para Além Da Técnica Smed. Proceedings of the 5o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia.

Custódio, M. (2013). Aplicação de Metodologias Lean para a Melhoria Contínua das Operações e Movimentação de Materiais numa Empresa Transformadora. Instituto Superior de Economia e Gestão - Lisboa.

Eurostat. (2023). Bicycles: trade value surged in 2022. https://www.bike-eu.com/46605/the-future-of-bike-assembly-machines

Fraga, A. I. (2014). Aplicação das metodologias LEAN numa MRO (Maintenance , repair and overhaul). Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Intelligence, M. (2024). Europe E-bike Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts UP to 2019. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-e-bike-market

Jenkins, M., Lustosa, L., Chia, V., Wildish, S., Tan, M., Hoornweg, D., Lloyd, M., & Dogra, S. (2022). What do we know about pedal assist E-bikes? A scoping review to inform future directions. Transport Policy, 128(September), 25–37. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.09.005

Kulkarni, P. P., Kshire, S. S., & Chandratre, K. V. (2014). Productivity Improvement Through Lean Deployment & Work Study Methods. International Journal of Research in Engineering and Technology, 03(02), 429–434. https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0302076

Martins, P. G., & Laugeni, F. P. (2017). Administração da Produção Fácil. https://www.google.pt/books/edition/ADMINISTRAÇÃO_DA_PRODUÇÃO_SÉRIE_FÁ/t4JnDwAA QBAJ?hl=pt-PT&gbpv=1&dq=Petrônio+Garcia+Martins+E+Fernando+Piero+Laugeni+2206+pdf&printsec=frontco ver

Nguyen, T., & Nguyen, P.-T. (2023). Applying Tools Of Lean – Six Sigma Method In The Plastic Products Industry : A Case Study. 2023 8th International Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB), November, 163–168. https://doi.org/10.1109/ATiGB59969.2023.10364470

Pereira, A., Silva, M., Domingues, M., & Sá, J. (2019). Lean Six Sigma Approach to Improve the Production Process in the Mould Industry : a Case Study. 1745, 103–121. https://doi.org/10.12776/QIP.V23I3.1334 Pereira, M. (2017). Melhoria de desempenho de processo de tratamento de reclamações e gestão de stocks de produto intermédio numa empresa do setor automóvel [Universidade do Minho]. http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/46575/1/Dissertacao_MES_MarcosPereira.pdf

Silva, R. M. P. da. (2008). Aplicação do Value Stream Mapping para o Estudo e Melhorias do Processo Produtivo. Universidade de Aveiro.

ID36
Implementação da norma NP EN ISO 50001 na SRAM

Hugo Pinto([1]), Ana Vieira([1, 2, 3, 4])
hugopinto0108@gmail.com; avieira@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Superior de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering
([3]) CISE - Electromechatronic Systems Research Centre
([4]) Ci2 - Smart Cities Research Center, Polytechnic Institute of Tomar, Portugal

Resumo

Considerando a crescente consciência ambiental na sociedade atual, é essencial que as empresas se adaptem às novas exigências do mercado, que é altamente competitivo e cada vez mais focado na sustentabilidade. Com consumidores mais informados e preocupados com o impacto ambiental das suas escolhas, as empresas precisam de novas formas de se destacar. Uma das estratégias mais eficazes é apostar na sustentabilidade, que inclui a redução da pegada ambiental e a promoção da eficiência energética.
Este artigo descreve o trabalho realizado na empresa SRAM, focado na implementação da norma NP EN ISO 50001, visando a melhoria do sistema de gestão de energia. A SRAM é uma empresa profundamente comprometida com a melhoria contínua e a sustentabilidade nas suas operações.
Na SRAM foi delineada uma estratégia para a implementação da ISO 50001, seguindo todos os requisitos desta norma. Inicialmente, foi realizado um estudo dos consumos da fábrica, de modo a identificar potenciais áreas de melhoria e os grandes consumidores (USE). Este estudo revelou significativas oportunidades de melhoria nos sistemas de ar comprimido, que são cruciais para o processo produtivo, e que apresentavam mais de 30% de perdas. Seguindo os requisitos da norma, consegue-se perceber a importância das auditorias, pois estas possibilitam que a empresa consiga perceber quais são as oportunidades de melhoria e os consumidores significativos de energia, conseguindo assim facilitar a certificação.

Palavras-Chave: Auditorias; Certificação; ISO 50001; Sistemas de ar comprimido; Sistemas de Gestão de Energia;

1. Introdução

Na última metade do século XX, começaram a ser efetuadas algumas tentativas de redução do consumo de energia por gestores de empresas e, no contexto sociopolítico da época refere-se o discurso do Presidente Norte Americano Richard Nixon de 1973. Neste discurso à Nação referia-se a importância da redução dos consumos de energia e do contributo de todos para a poupança de recursos. Entre as ações mais comuns indicam-se algumas que se destacam pela sua simplicidade como desligar a iluminação quando esta não é necessária e ajustar o ponto de funcionamento dos sistemas de ar condicionado. Estas medidas eram de fácil compreensão e execução pelo que numa fase inicial foram implementadas sem o recurso ao suporte de qualquer tipo de sistema. Simultaneamente requeriam investimentos pouco significativos e a sua execução garantia retornos imediatos ou quase imediatos. O conceito de gestão de energia veio dar suporte à utilização de práticas que têm um impacto significativo nos consumos de energia, o "*que envolve monitorizar, medir, registar, analisar, avaliar, controlar e redirecionar os fluxos de energia e materiais através de um sistema de forma que seja necessária uma menor quantidade de energia para alcançar os objetivos*" (Martins, 2023).

A eficiência energética e a sustentabilidade são conceitos intimamente interligados, sendo ambos cruciais para o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente. O conceito de eficiência energética consiste no uso otimizado da energia para realizar uma certa tarefa, enquanto a sustentabilidade abrange práticas e políticas que visam garantir o uso equilibrado dos recursos naturais para que as gerações futuras possam ter uma qualidade de vida melhor e possam satisfazer as suas próprias necessidades. A relação entre estes dois conceitos passa pela contribuição da eficiência energética para a redução do impacto ambiental de atividades consumidoras de energia. Quando a energia é utilizada de forma eficiente, existe uma diminuição na procura de recursos naturais, como combustíveis fósseis, que são fontes de emissões de gases de efeito de estufa o que, consequentemente, resulta na diminuição das alterações climáticas e do aquecimento global. Portanto, melhorar a eficiência energética é uma estratégia fulcral para mitigar as mudanças climáticas e promover a sustentabilidade ambiental. Além da redução

do impacto ambiental, a eficiência energética promove a conservação dos recursos naturais pois, ao reduzir a quantidade de energia necessária para realizar atividades quotidianas, diminui-se a pressão sobre os recursos finitos do planeta. Por exemplo, enquadrando com o tema deste trabalho, o uso eficiente da energia elétrica pode reduzir a necessidade de construção de novas centrais elétricas, preservando paisagens naturais e ecossistemas que possivelmente seriam afetados pela extração de combustíveis, matérias-primas e pela infraestrutura de energia. Todas estas alterações têm repercussões tanto a nível ambiental como a nível económico pois, a redução do consumo de energia pode levar a uma diminuição de despesas com energia para a empresa, especialmente em situações de dependência energética. Isto não só melhora a competitividade empresarial como pode também contribuir para o crescimento económico da empresa. Por último, o avanço tecnológico é considerado um fator chave para a melhoria da eficiência energética pois, a inovação em tecnologias limpas e os sistemas de gestão de energia, permitem um uso mais racional e eficiente da energia. Estas tecnologias não só reduzem o consumo energético, como também minimizam a pegada de carbono associada às atividades humanas, nomeadamente em operações fabris, alinhando-se assim com os objetivos de sustentabilidade global. Em suma, para alcançar uma sociedade verdadeiramente sustentável, é fundamental investir em tecnologias eficientes, implementar políticas e investir em sistemas de gestão que promovam o uso racional da energia (IEA, 2020).

Sistema de Gestão de Energia (SGE) é definido pela ISO 50001 como um "*conjunto de elementos inter-relacionados ou interatuantes para estabelecer uma política e objetivos energéticos, bem como estabelecer os processos e procedimentos necessários para a concretização desses objetivos*", seguindo o princípio de um ciclo de melhoria contínua (ISO 50001, 2012, 2018; Martins, 2023).
A norma ISO 50001 foi desenvolvida pela Organização Internacional da Normalização (ISO), uma organização internacional não governamental e independente, criada em 1947 com o propósito de desenvolver normas internacionais que promovem e apoiam a inovação e soluções para os desafios globais da indústria.
Para além dos SGE, é comum as organizações utilizarem outros Sistemas de Gestão, nomeadamente, qualidade, ambiente, energia ou segurança e saúde no trabalho. As organizações podem optar por utilizar de forma integrada todos estes sistemas de gestão numa única estrutura coesa, sendo nesse caso adequado optar pela utilização de um Sistema de Gestão Integrado (SGI) (Cunha, 2012; Oliveira, 2016; Sousa, 2012).
A integração das normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 50001 num SGI permite que as organizações beneficiem de uma abordagem mais coerente e eficaz na gestão dos seus processos. A utilização de uma estrutura comum facilita a implementação de políticas e procedimentos que atendam simultaneamente aos requisitos de qualidade, ambientais e de energia (Cunha, 2012; ISO 9001, 2015; ISO 14001, 2015; ISO 50001, 2018; Oliveira, 2016; Sousa, 2012).

A norma ISO 9001 é uma referência internacional para a gestão da qualidade. Esta norma define os requisitos para a implementação de um sistema de gestão da qualidade (SGQ), visando assegurar que a organização é capaz de fornecer consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente e aos regulamentos aplicáveis.
A norma ISO 14001 estabelece os critérios para um sistema de gestão ambiental (SGA). Esta norma ajuda as organizações a melhorar o seu desempenho ambiental, através da utilização mais eficiente de recursos e da redução de resíduos, contribuindo assim para a sustentabilidade e a proteção do meio ambiente (ISO 9001, 2015; ISO 14001, 2015).
Em junho de 2011 foi publicada a Norma ISO 50001 - "*Energy Management Systems - Requirements with guidance for use*", posteriormente traduzida e adotada em Portugal pelo Instituto Português da Qualidade, em 2012. Este documento foi publicado com o objetivo de especificar os requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um SGE. Com a adoção desta norma permite que a organização possa seguir uma abordagem sistemática para alcançar a melhoria contínua do desempenho energético independentemente da sua complexidade, da documentação utilizada e até mesmo da quantidade de recursos necessários. Do mesmo modo, diferentes organizações que operem no mesmo setor e com operações similares, mas com desempenhos energéticos diferentes, podem ir de encontro aos requisitos da norma ISO 50001 (Martins, 2023).
A implementação de um SGI permite que a organização alinhe os seus processos internos com os seus objetivos estratégicos, melhore a comunicação interna e garanta a conformidade com diversas normas e regulamentos aplicáveis. Além disso, proporciona uma visão global dos riscos e oportunidades, promovendo uma cultura de melhoria contínua e inovação. Um SGI, ao permitir uma abordagem integrada dos múltiplos sistemas, facilita a gestão de diferentes aspetos da organização, promovendo a eficiência e a redução de redundâncias (Cunha, 2012; Oliveira, 2016; Sousa, 2012).

De igual modo, é importante evidenciar a diferença entre gestão de energia e Sistema de Gestão de Energia. Um SGE é uma ferramenta para implementar gestão de energia. A gestão de energia pressupõe, numa abrangência holística, a definição de políticas, objetivos e metas para a energia, numa organização. Devido à importância de uma gestão de energia eficiente no setor industrial, muitas organizações já implementam SGE e outras começam a investir em SGI, ferramentas importantes para a operacionalização de planos de ação e processos que permitam alcançar os objetivos e metas assumidas para a gestão de energia (Borges, 2016; ISO 50001, 2012, 2018; Martins, 2023).

De uma forma geral, com a implementação de um SGE pretende-se (Borges, 2016):

- Promover a melhoria contínua da eficiência energética, do desempenho energético e do consumo de energia;
- Minimizar os impactos ambientais, resultantes do consumo de energia;
- Maximizar a sustentabilidade financeira.

A ISO 50001 foi desenvolvida de forma a apoiar as organizações empenhadas em abordar o seu impacto, conservar recursos e melhorar os resultados através de uma gestão eficiente da energia. Assim, esta norma define os requisitos e linhas de orientação para a utilização de SGE (ISO, 2024; ISO 50001, 2018). Comprometida com a melhoria contínua e a sustentabilidade, em janeiro de 2024 a SRAMPORT começou o processo de implementação da ISO 50001.

2. A SRAM

A SRAM foi fundada, em Chicago, no ano de 1987, por um pequeno grupo, Stan Day, Mike Mercuri, F. K. Day, Jeff Shupe, Sam Patterson e Scott King. Na sua génese, a empresa continha apenas um produto no seu portefólio, o *Grip Shift®,* que consiste num manípulo para o guiador da bicicleta de estrada, em que a sua função é alterar as mudanças da bicicleta através da rotação desse manípulo. Esta inovação foi idealizada por Stan Day, como uma nova e mais fácil forma de alterar as mudanças de uma bicicleta, tendo sido desenvolvida pelo Engenheiro Sam Patterson (SRAM, 2024).

A posição da SRAM no mercado de componentes para bicicletas foi solidificada com o desenvolvimento do seu primeiro desviador adaptado ao *Grip Shift®* para bicicletas de montanha (SRAM, 2024). Este feito transformou a SRAM num dos maiores fornecedores de componentes de bicicletas do mundo.
Ao longo dos anos a SRAM foi crescendo ao nível de inovação, com o desenvolvimento e produção de novos componentes, como por exemplo, um sistema de mudanças completo (1995), ou um desviador traseiro XO (2001), entre outros (SRAM, 2024). Esse crescimento também foi sustentado, tendo o grupo procedido à aquisição contínua de várias empresas do ramo dos componentes de bicicletas e não só (SRAM, 2024).
A SRAM enquadra-se como uma empresa de componentes de bicicletas *premium*, não sendo foco da empresa estar no *mass market* de componentes. Outro dos focos da empresa é apresentar oferta para todos os componentes de uma bicicleta, exceto o quadro. A produção ou montagem de todos estes componentes é feita em três unidades fabris: Portugal, Taiwan e Indianápolis (E.U.A.). A unidade localizada em Portugal é denominada por SRAMPORT.

A SRAMPORT iniciou-se com a fundação da Transmeca, em 1968, senda a área de negócio desta empresa as correntes de transmissão automóveis. A Transmeca era detida pela Peugeot France (50%) e por Armando Simões (50%), acabando por, em 1987, existir uma aquisição por parte da Sachs Industries (70%) e da Fichtel und Sachs (30%). Mais tarde, em 1997, com a aquisição da Sachs por parte da SRAM, a unidade fabril Transmeca adquiriu o seu nome atual, SRAMPORT, passando a produzir correntes para bicicletas (SRAM, 2024). Na SRAMPORT, atualmente, são produzidos todos os tipos de correntes para bicicletas e são ainda montadas rodas, hubs e pedais de bicicleta, exportados para todo o mundo. Esta unidade fabril emprega mais de 150 pessoas e, no ano de 2022, faturou mais de 50.000.000€. A importância desta unidade para a operação mundial da SRAM é traduzida na produção diária de milhares de metros de correntes "orgulhosamente" produzidas na fábrica de Coimbra (SRAM, 2024).

3. Integração da norma ISO 50001 na SRAM

Neste capítulo resumem-se as principais tarefas desenvolvidas neste contexto, como sejam a identificação de equipamentos com Uso Significativo de Energia (USE) e a definição de Indicadores de Desempenho Energético (IDEs), assentes na recolha, tratamento e analise de dados. Com base nos USE identificados, apresenta-se um estudo mais detalhado dos sistemas de ar comprimido, por ser na SRAM o sistema onde se perspetivavam maiores oportunidades de melhoria. O capítulo termina com a apresentação de propostas de melhoria para outros USE identificados.

O projeto que a SRAM já tinha delineado para a Implementação da Norma ISO 50001 encontra-se esquematizado na Figura 1, sendo que, devido ao período em que o trabalho de campo decorreu, só foi possível acompanhar os 2 primeiros passos da Implementação do SGE, seguindo os requisitos da norma.

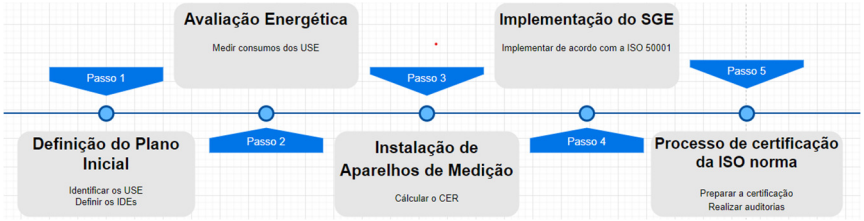


Figura 1 – Cronologia do Planeamento da Implementação da ISO 50001 na SRAM

3.1. Contextualização da aplicação da norma

As atividades desenvolvidas durante o trabalho de campo começaram com uma revisão e análise aos procedimentos da empresa, visando deste modo compreender de uma maneira precisa os processos internos. Esta compreensão foi essencial para posteriormente sugerir possíveis alterações e possíveis propostas de melhoria a realizar.
Como referido na contextualização teórica, cada organização deve adotar a sua própria metodologia de integração da norma ISO 50001.
De forma a abordar o requisito 4.1 (Compreender a organização e o seu contexto) e com base na leitura e análise de alguns documentos internos da SRAM, foi possível desenvolver uma análise SWOT relativa ao SGE, que se apresenta na Figura 2.

ANÁLISE SWOT	
Forças	**Fraquezas**
• Instalações e equipamentos que permitem o SGE; • Comprometimento do Grupo; • A empresa cumpre os requisitos legais e existem condições criadas para tal; • Utilização de energias renováveis.	• Número reduzido de operacionais na área de energia; • Sistema não implementado; • Resistência à mudança de hábitos e comportamentos; • Complexidade da área.
Oportunidades	**Ameaças**
• Angariação de novos clientes; • Redução de custos de energia; • Inovação tecnológica; • Aumento de competitividade da empresa; • Atingir as metas estabelecidas pela empresa.	• Burocratização; • Disponibilidade dos tipos de energia; • Inflação e aumento generalizado dos preços.

Figura 2 - Análise SWOT da implementação da ISO 50001 na SRAM

Da análise SWOT apresentada, a dependência energética e o aumento generalizado dos preços tornam evidente a importância dos requisitos 6.4 (Indicadores de desempenho energético), 6.6 (Planeamento de recolha de dados de energia) e 9.1 (Monitorização, medição, análise e avaliação do desempenho energético e do SGE).
Depois de apresentados os requisitos coincidentes com os processos já implementados no Sistema de Gestão da SRAM, apresentam-se as abordagens e estratégias que foram criadas de modo a satisfazer a referência normativa da ISO 50001 e dar resposta aos três requisitos referidos (6.4, 6.6 e 9.1).

Ao cumprir estes requisitos, a SRAM cria condições para combater as ameaças identificadas, motivo pelo qual eles são o foco da análise realizada durante o trabalho de campo. De frisar que estes requisitos são integrados na fase de Planeamento Energético. O Planeamento Energético é uma etapa determinante na implementação do SGE pois visa a identificação das atividades com maior impacto no consumo e desempenho energético, além de estabelecer alguns métodos de otimização dos mesmos (Martins, 2023).

Com o objetivo de dar resposta às necessidades do requisito 6.3 “Avaliação Energética”, foi necessário proceder à recolha de dados energéticos da SRAM.

A quantificação do consumo de energia é essencial para um correto acompanhamento do desempenho energético. No início do projeto de implementação da ISO 50001 na SRAM, a monitorização do consumo de energia era apenas assegurada por via das faturas energéticas, contadores gerais das principais fontes de energia e dois contadores parciais de gás natural pelo que era importante definir estratégias para desagregação de consumos, por secções e equipamentos, e identificar as secções com Uso Significativo de Energia (USE).

Tendo como referência as informações que já haviam sido compiladas pela SRAM no âmbito do Planeamento de Implementação, apresentado previamente na Figura 1, foram realizadas leituras dos consumos energéticos na SRAM, concentradas durante o mês de abril.

3.2. Contextualização da aplicação da norma

A SRAM utiliza energia elétrica, gás propano, gás natural e água como fontes primárias de energia. A energia elétrica, por sua vez, é usada para bombeamento de águas e também para a produção de ar comprimido, através de três compressores. Esta fonte de energia secundária é fortemente utilizada na SRAM, motivo pelo qual se vai dar mais relevância aos sistemas de ar comprimido, mais à frente neste trabalho.
A medição dos consumos destas diferentes fontes de energia é, tradicionalmente, feita com referência a unidades diferentes, pelo que se torna difícil determinar qual a fonte de energia com maior consumo associado, sem uma análise prévia dos dados.

Contudo, é possível converter todos os valores medidos para a mesma unidade, de modo a facilitar a comparação dos mesmos. A conversão das fontes de energia para a mesma unidade tem por base fatores de conversão que estão definidos para diversas fontes de energia (ADENE, 2024; DGEG, 2008). Na Tabela 1 resume-se os fatores de conversão utilizados neste trabalho.

Tabela 1 – Tabela de Conversões de Unidades

1 KWh	215×10^{-6}tep
1 Tonelada	1,077 tep

Na Figura 3 representa-se um layout para a fábrica 1, com identificação das redes de distribuição (e as principais entradas em cada secção) de gás natural, gás propano, azoto, ar comprimido e água. Apesar de não ser um desenho à escala, a concretização do *layout* foi um exercício muito importante para perceber a constituição de todas as redes técnicas e o funcionamento das mesmas. Ainda na Figura 3 exemplifica-se as chapas identificadoras de equipamentos (com a respondente identificação no *layout* a verde) e ainda a identificação de uma linha de montagem (assinalada no *layout* a amarelo), com a sua correspondente identificação num dos *Gemba Walk.*

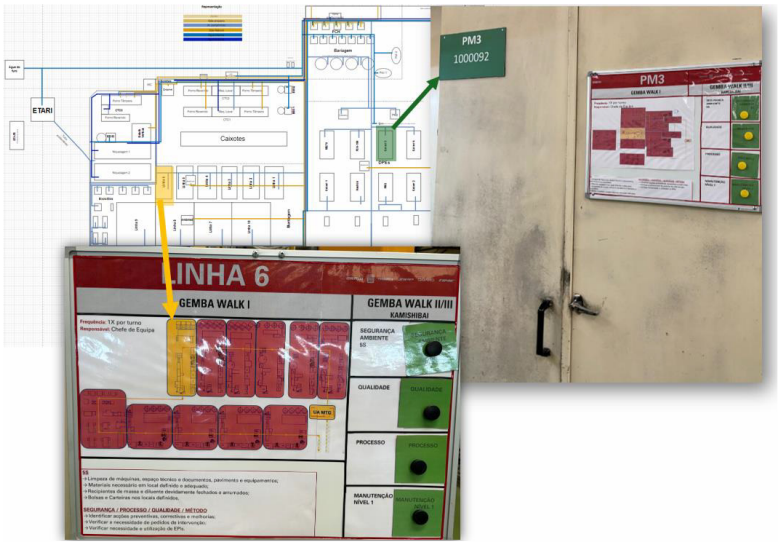


Figura 3 - Exemplo de informações relevantes para o layout da fábrica 1

Durante a realização do *layout*, foram ainda recolhidas e compiladas informações das placas identificadores distribuídas pela fábrica e informações fornecidas pelos colaboradores durante as visitas deambulatórias ao chão de fábrica. No esquema das redes de distribuição para todas as formas de energia foi atualizada a informação do número de série dos equipamentos para a fábrica 1.
De seguida, mostra-se o estudo realizado para as duas principais fontes de energia primária e para a principal fonte de energia secundária, com foco no processo de recolha e análise de dados de consumos.

3.3. Eletricidade

Toda a energia elétrica é recebida em média tensão e é utilizada em quase todos os equipamentos da fábrica. Os dois postos de transformação PT1 e PT2, de 1000 KVA e 1250KVA, respetivamente, alimentam equipamentos, máquinas, circuitos de iluminação e instalações de toda a unidade fabril.
Durante as visitas deambulatórias referidas na secção anterior foram recolhidas informações dos equipamentos com base nos dados das chapas características. Na Figura 4 apresentam-se dois exemplos de chapas características de equipamentos consumidores de eletricidade. Entre as informações recolhidas refere-se o número de série e o nome do equipamento, a tensão de alimentação (V) e a corrente(A).



a) b)

Figura 4 - Exemplos de chapas características: a) Máquina de Montagem; b) Motor Elétrico

Com base nas informações dos equipamentos e a sua localização na fábrica 1 foi possível construir uma tabela com informação técnica e com referência à secção e à subsecção a que pertencia cada máquina.
Com base na potência nominal dos equipamentos e na informação fornecida sobre a sua importância para o processo produtivo, foi tomada a decisão sobre os que teriam prioridade para um estudo mais detalhado, utilizando para isso a escala proposta que se ilustra na Figura 5.

Escala de consumo	Correspondência
Reduzido	1
Baixo	2
Intermédio	3
Elevado	4
Muito Elevado	5

Figura 5 – Escala de consumo

Depois de escolhidos os equipamentos com prioridade, começou-se a medir os valores das correntes e das tensões trifásicas para se calcular o valor do consumo instantâneo. Estas medições foram feitas com o auxílio dos equipamentos ilustrados na Figura 6. (Multímetro Digital Fluke 179 True-RMS e Pinça de corrente Fluke i400, com capacidade para medir até 400A CA).



Figura 6 – Multímetro e pinça amperimétrica

Através dos dados recolhidos na medição, foi determinado o consumo instantâneo através da potência dos equipamentos e o consumo que estes representavam. Através desta recolha e análise de dados foram determinados os equipamentos com Uso Significativo de Energia (USE)

3.3.1. Identificação dos USE

Em relação aos consumidores de energia elétrica, foi feita uma medição instantânea dos consumos de eletricidade para cada equipamento e, posteriormente foram projetados esses mesmo dados para a utilização do mês de abril, 8 horas por dia.

Foi utilizada a análise de Pareto para identificar os USEs, como se pode verificar na Figura 7 e manter os esforços da equipa mais focados nas áreas de maior impacto: CTC (Cementação e Têmpera Contínuo), TTD (Forno de Tratamento Térmico Delta), Montagem, DPE (Corte e Furação de Placas) e Compressores.

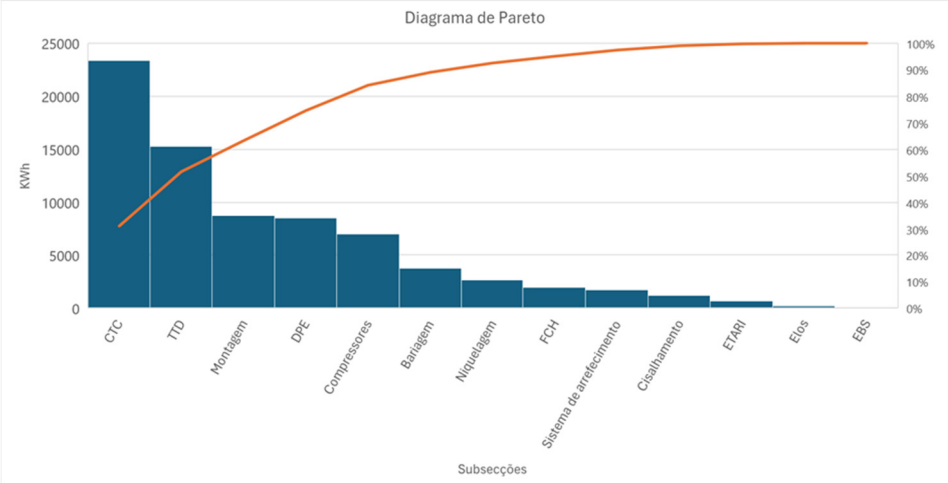


Figura 7 – Usos Significativos de Energia (USE)

Destaca-se ainda as secções USE com maior potencial de melhoria: a secção de Montagem e a secção de Compressores, em que foram identificadas significativas fugas de ar audíveis nos circuitos de ar comprimido.

Tendo em conta os USE identificados, foram averiguadas quais as variáveis relevantes referidas na Norma ISO 50004 e que podem influenciar o desempenho energético na SRAM. Esta identificação, resumida na Tabela 2, é fundamental e necessária para assegurar a correta monitorização para posteriormente se definirem CERs adequados.

Tabela 2 – Variáveis relevantes dos USE

USE	VARIÁVEIS RELEVANTES
CTC	Temperatura operacional
	Horas de funcionamento
	Paragens não programadas
	Fugas
	Número de peças produzidas
	% de Oxigénio
	Tipo de artigo
	Pessoas responsáveis pela operação
TTD	Número de peças produzidas
	Paragens não programadas
	Horas de funcionamento
	Tipo de artigo
	Pessoas responsáveis pela operação
Montagem	Metros de corrente produzidos
	Horas de funcionamento
	Paragens não programadas
	Pessoas responsáveis pela operação
DPE	Horas de funcionamento
	Scrap
	Paragens não programadas
	%Humidade
	Número de equipamentos em funcionamento
	Pessoas responsáveis pela operação
Compressores	Temperatura do ar
	Pressão à saída
	Horas de funcionamento
	Fugas de ar
	Número de equipamentos em funcionamento
	Pessoas responsáveis pela operação

3.2. Gás Natural

Em relação ao consumo de gás natural, procedeu-se à recolha de consumo apenas nos fornos de Cementação e Têmpera em Contínuo (CTC) devido à inexistência de caudalímetros nas demais secções e equipamentos consumidores de gás natural, como nos Fornos de Cementação e Têmpera (FCH) e nos Fornos de Tratamento Térmico Delta (TTD).

Para efetuar a recolha destes dados, foram feitas leituras no caudalímetro instalado no Forno de Têmpera 1, ilustrado na Figura 8.

As leituras foram realizadas no período de 05/03/2024 a 15/05/2024 e, através dos dados retirados foi possível determinar o consumo deste equipamento (CTC1). Os consumos do CTC1 foram registados numa folha de cálculo Excel e, com base nestes dados foram determinados os consumos por hora e o consumo médio no período. Estas informações encontram-se organizadas na Figura 9.

Na Figura 9 existe um valor que se destaca, o valor do intervalo 2, que tem um consumo medido alto, o que pode ser justificado pelo facto desse consumo se referir a um período de cerca de 40 dias. Porém, o facto de o valor médio também ser bastante alto, quase o dobro do valor médio no período de análise, deverá ser analisado pois, pode ter havido um alto fluxo de produção neste período.

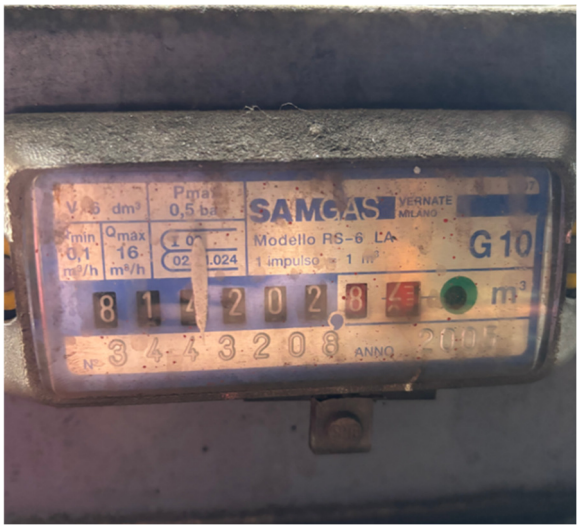


Figura 8 – Caudalímetro de gás natural

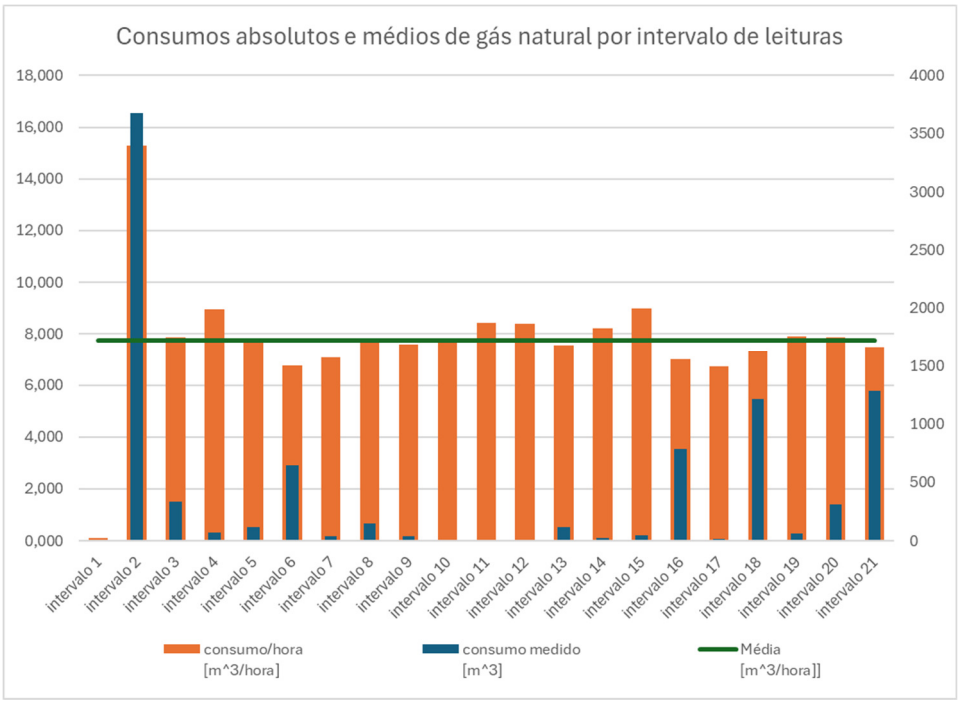


Figura 9 – Consumo de gás natural entre 05/03/2024 e 15/05/2024

3.3. Ar Comprimido

Apesar de os USE terem sido identificados tendo em conta a energia elétrica consumida, alguns equipamentos foram referenciados como equipamentos com oportunidades de melhoria devido há existência de fugas de ar audíveis.

Por este motivo, esta secção tem como foco analisar os sistemas de ar comprimido de modo a entender como pode ser reduzido o consumo desta forma de energia na SRAM. Todos valores de consumo recolhidos nas medições, foram lidos no Sistema de gestão de ar comprimido Sigma AIR Manager 4.0 que tem uma base de dados que consegue guardar todos os dados sobre o ar comprimido produzido pelos equipamentos produtores de ar comprimido (Figura 10).

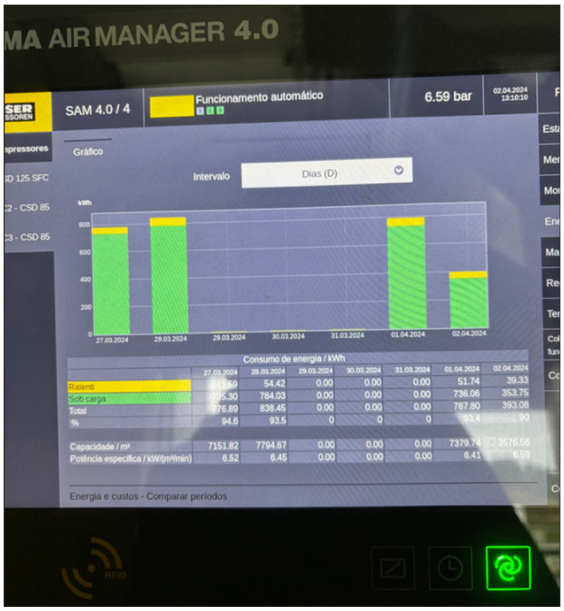


Figura 10 – Consola da Kaeser (Sigma Air Manager 4.0)

3.3.1. Equipamentos produtores de ar comprimido

A SRAM possui 3 compressores de ar comprimido, um compressor Kaeser CSD 125 (versão SFC com variação de velocidade) e dois compressores Kaeser CSD 85 (versão base). Possui também um secador por refrigeração TF 280 e um reservatório de ar comprimido com uma capacidade de três m³.
Os compressores de parafuso da série CSD da Kaeser possuem um motor elétrico que, por sua vez, aciona um par de parafusos, que se movem e fazem com que o ar comprimido seja conduzido até ao local de dispensa. Os rotores são classificados como macho e fêmea, dessa forma, a estrutura do compressor é simples, o que também é uma vantagem, visto que diminui a complexidade da manutenção. Os compressores são do modelo de velocidade variável, ou seja, possuem entre 20 e 30 hp (horse power) de potência, que são indicados para grandes indústrias. O compressor Kaeser CSD 125 SFC possui um inversor de frequência, o que permite a variação de velocidade (Kaeser Compressores, 2024).

O secador por refrigeração foi adquirido pela SRAM devido às suas características de funcionamento e pela maioria das aplicações de ar comprimido que este equipamento possui, sendo estas o tratamento de ar comprimido para um Ponto de orvalho sob pressão (PDP) estável de +3ºC, uma pressão máxima de serviço de 16 bar e um caudal de 28 m³/min. Este secador foi também adquirido devido à importância da secagem do ar comprimido pois, ao realizar a secagem do mesmo, podem ser evitados problemas futuros, como aumentos de custos de manutenção, corrosão, aumento da humidade em ambientes húmidos e microrganismos. A redução destes mesmos problemas pode aumentar o ciclo de vida dos equipamentos e também a qualidade geral de produção (Kaeser Compressores, 2024).

3.3.2. Processo de conversão de energia elétrica em ar comprimido

O gerador de ar comprimido recebe ar que passa pelo filtro de aspiração e pela válvula de admissão. O bloco do compressor é ativado por um motor elétrico. De seguida, é injetado óleo de arrefecimento na compressão para o arrefecimento e é novamente separado do ar no reservatório de separação de fluído. O ar comprimido flui através do filtro de separação de óleo de 2 níveis e por uma válvula de retenção de pressão mínima para o radiador de ar comprimido. Após o arrefecimento, os condensados acumulados, são removidos do ar comprimido e descarregados para fora do sistema. Por fim, o ar comprimido sai do sistema pela ligação de ar comprimido. Durante todo este processo, o calor gerado é libertado para uma conduta pelo óleo de arrefecimento do radiador de óleo. O óleo de arrefecimento é posteriormente limpo pelo ECO- filtro do fluído e o calor gerado é utilizado para aquecimento.
Depois da passagem pelo gerador de ar comprimido, o ar é enviado para um secador por refrigeração, que arrefece o ar comprimido de 3ºC a 45ºC e deste modo elimina qualquer humidade existente evitando que a humidade causasse corrosão das tubulações, substituição de componentes pneumáticos e diminuição da produtividade (Kaeser Compressores, 2024) (Figura 11).



Figura 11 – Funcionamento do compressor de ar comprimido

3.3.3. Cálculo de ar comprimido produzido nos compressores

Para determinar o volume de ar comprimido que é produzido pelos geradores e consequentemente enviado para a fábrica, precisamos de utilizar a fórmula da massa volúmica e, através da mesma, determinar o valor da massa.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad ($$

Considerando o valor da massa volúmica 1,2 Kg/m³ e utilizando um valor utilizado na folha de cálculo Excel, temos que:

$$m = \frac{1{,}2\text{Kg}}{\text{m}^3} * 71\ \text{m}^3$$
$$\Leftrightarrow m = 85{,}2\ Kg$$

De seguida, e para meios comparativos, convertemos as unidades da massa, Kg, para tep para uma melhor análise dos valores obtidos.
De acordo com o fator de conversão previamente na Tabela 1. Caso queiramos saber se a empresa é uma grande consumidora de energia, ou seja, se a empresa consome mais de 500 tep anualmente.

$$m = 0{,}0852\ ton = 0{,}0917604\ tep$$

Usamos o valor em KWh para uma melhor leitura da fatura energética da empresa, recorrendo ao fator de conversão apresentado anteriormente na Tabela 1.

$$m = 426{,}7925581\ KWh$$

Temos, portanto, um consumo de 0,0917604 tep ou 426,7925581 KWh de ar comprimido na fábrica, numa hora. De seguida, o processo repete-se para as restantes horas e é feita a análise do consumo que cada secção tem, que se encontra calculado numa folha de cálculo Excel. A análise dos dados recolhidos permitiu identificar mais de 30% de perdas nos sistemas de ar comprimido. Com base no potencial de redução destas perdas, foram desenvolvidos estudos de reconfiguração das redes de ar comprimido e realizados estudos de impacto de redução de perdas com base em onze medidas corretivas.

3.4. Identificação IDE

Os IDEs foram estruturados em dois níveis: nível global e nível parcial. Caso se pretenda avaliar o desempenho da globalidade das instalações, deve-se recorrer aos IDEs gerais (Tabela 3). Por sua vez, para cada secção foram definidos IDEs de modo a facilitar a interpretação dos valores de consumos.
O nível parcial é referente ao desempenho energético de secções/equipamentos.
Na Tabela 4 apresenta-se os IDEs para os USE. Para além dos IDEs identificados para cada USE foram também definidos IDEs para as restantes secções analisadas, de acordo com o que se resume na Tabela 5.

Tabela 3 – Tabela de Conversões de Unidades

FONTE DE ENERGIA	IDE CORRESPONDENTE
Energia Elétrica	$\frac{Eletricidade\ consumido}{Tempo} = [\frac{tep}{ano}]$ $\frac{Eletricidade\ consumido}{Tempo} = [\frac{KWh}{ano}]$
Gás Natural	$\frac{Gás\ utilizado}{Tempo} = [\frac{tep}{ano}]$
Ar comprimido	$\frac{Ar\ comprimido\ produzido}{Tempo} = [\frac{tep}{ano}]$
Água externa:	$\frac{Quantidade\ de\ água\ consumida}{Tempo} = [\frac{tep}{ano}]$
Água Interna	$\frac{Quantidade\ de\ água\ consumida}{Tempo} = [\frac{tep}{ano}]$

Tabela 4 – IDEs definidos para cada USE

USE	IDE
CTC	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
TTD	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
Montagem	$\frac{Energia\ consumida}{Metros\ de\ corrente\ produzida} = [\frac{tep}{m}]$
DPE	$\frac{Energia\ consumida}{Número\ de\ peças\ produzidas} = [\frac{tep}{2000\ peças}]$
Compressores	$\frac{Energia\ consumida}{Quantidade\ de\ ar\ comprimido\ produzido} = [\frac{tep}{m^3}]$

Tabela 5 – IDE definido para cada secção

SECÇÃO	IDE
Bariagem	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
Niquelagem	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
FCH	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
Cisalhamento	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
EBS	$\frac{Energia\ consumida}{Peso\ produzido} = [\frac{tep}{kg}]$
Elos	$\frac{Energia\ consumida}{Número\ de\ peças\ feitas} = [\frac{tep}{1000\ peças}]$

4. Conclusões

A Implementação de Normas ISO é bastante importante por ser uma forma das empresas desenvolverem a sua própria metodologia de trabalho, permitindo, apesar disso, que possam, com as melhores práticas, estar alinhadas por seguirem alguns requisitos normalizados.
O estudo de caso descrito neste documento foi realizado na SRAM e proporcionou a interação com as equipas técnicas e demais colaboradores de uma fábrica e com diversos equipamentos. O tema deste trabalho foi a Norma NP EN ISO 50001 e, ao implementar a mesma, foi possível aprofundar o conhecimento sobre diversos equipamentos, perceber a importância para o processo produtivo de diversas fontes de energia e explorar sistemas utilizados para a conversão de fontes de energia primárias em formas adequadas aos processos da SRAM.
Considerando os objetivos enumerados para o caso em análise, todos os objetivos foram cumpridos, apesar da curta duração do trabalho de campo, das dificuldades e dos desafios, especialmente na recolha de dados, devido ao facto de ainda haver poucos aparelhos de medição instalados na fábrica. Seria interessante ter podido contar com as leituras dos equipamentos de medição que a SRAM optou por adquirir, o que irá permitir análises mais rigorosas, uma vez que a sua instalação distribuída já permite fazer mais desagregações.
O estudo de caso na SRAM permitiu complementar e consolidar o conhecimento adquirido ao longo da Licenciatura de Engenharia e Gestão Industrial. Foi também interessante perceber as diversas funcionalidades de um sistema de ar comprimido numa unidade fabril.

Agradecimentos

Importa agradecer à SRAM a possibilidade de realizar o trabalho de campo que serviu de base ao estudo de caso e à realização deste artigo. Agradece-se também a disponibilidade e apoio de equipas técnicas e demais colaboradores da SRAM.

Referências

ADENE. (2024). CONVERSOR SGCIE. https://sgcie.pt/conversor-sgcie/

Borges, A. F. L. (2016). Implementação da norma NP EN ISO 50001 no ISEP? requisitos específicos dos edifícios B, G e H [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Cunha, L. F. X. (2012). O Sistema de Gestão Integrado – Motivações, Implementação e Importância para as Organizações Um Estudo de Caso no Grupo Visabeira [Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior]. https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3072/1/Luis%20cunha.pdf

DGEG. (2008). Despacho no 17313/2008. In Diário da República: Vol. 2ª série (N.º 122, pp. 27912–27913).

IEA. (2020). *Energy Efficiency 2020*. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020

ISO 50001. (2024) Gestão de Energia. https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html

ISO 9001. (2015). Sistemas de Qualidade - Requisitos.

ISO 14001. (2015). Sistema de Gestão Ambiental: Requisitos e guia para a sua utilização. https://www.iso.org/

ISO 50001. (2012). Sistemas de gestão de energia: Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização.

ISO 50001. (2018). Sistemas de gestão de energia: Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização.

Kaeser Compressores. (2024). Compressores de parafuso. https://pt.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:35-5928

Martins, C. F. H. (2023). Integração da Norma ISO 50001:2018 no Sistema de Gestão de uma Empresa de Fabricação de Luvas [Dissertação de Mestrado]. Universidade de Coimbra.

Oliveira, R. A. R. (2016). Implementação de Um Sistema de Gestão Integrado de Qualidade e Ambiente – estudo de caso [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra]. https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14408/1/Tese.pdf

Sousa, A. (2012). Manual do Sistema de Gestão Integrado da Gertal.

SRAM. (2024). SRAM.

ID37
Melhoria contínua e análise da eficácia geral do setor da costura numa empresa do setor têxtil

Sara Silva ([1]), José Luís Martinho ([1,2])
saravizeu@hotmail.com, martinho@isec.pt

([1]) Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
([2]) RCM2+, Research Centre for Asset Management and Systems Engineering

Resumo

As organizações para serem competitivas necessitam de identificar desperdícios e tentar eliminá-los, entregando produtos de qualidade ao cliente. Para tal, é fundamental recorrer a indicadores como o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), que permite medir a percentagem do tempo de produção planeado que é, efetivamente, produtivo. Este indicador permite analisar a situação inicial, indicando a real capacidade do chão de fábrica, servindo de base para acompanhar o progresso da eliminação de desperdícios nos equipamentos.
No presente artigo, identificou-se o estado inicial evidenciando diversos desperdícios que sugeriram propostas de melhoria para os minimizar, recorrendo a algumas ferramentas *Lean*. De seguida, procedeu-se à recolha, análise e tratamento de dados necessários para a análise e cálculo do OEE. Nesta etapa, identificaram-se alguns problemas em termos de volume e de qualidade, por exemplo devido à falta de precisão, consistência e conformidade dos dados.
No final do estudo, o setor da costura apresentou valores satisfatórios de OEE, com três das quatro máquinas dentro dos valores de referência mundial, apesar da fiabilidade dos dados ser posta em causa. Os parâmetros mais críticos foram o desempenho e a qualidade. Posto isto, efetuaram-se ações de sensibilização e formação dos colaboradores sobre a importância dos dados serem completos e precisos, de apresentarem as perdas que afetam o OEE e da consequente necessidade da sua documentação no registo de produção. Por fim, apresentou-se um novo registo de produção para melhorar a recolha de dados e agilizar o preenchimento.

Palavras-Chave: *Overall Equipment Effectiveness*, Desperdícios, Melhoria Contínua, *Lean*, Setor Têxtil

1. Introdução

Com o aumento da competitividade, as empresas veem-se forçadas a procurar ferramentas para manter a sua vantagem competitiva no mercado, sendo necessário aumentar a sua produtividade, minimizar os desperdícios e oferecer produtos e serviços com qualidade. Foi neste contexto que surgiu assim o *Toyota Production System* (TPS), há algumas décadas no Japão, um conjunto de várias técnicas projetadas para reduzir o custo de fabricação através da redução do desperdício. O TPS deu origem a um movimento global conhecido como *Lean* (Liker & Morgan, 2006). A implementação desta filosofia de gestão traz vários benefícios quantitativos como, melhorias no *lead time*, no tempo de ciclo, no tempo de *setup*, nos defeitos, no OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) (Bhamu & Singh Sangwan, 2014) e qualitativas tais como, melhoria no bem-estar do colaborador, visar uma comunicação eficiente e trabalho padronizado.

De forma a monitorizar o impacto das ações de melhoria na redução de desperdícios e, em última análise, no desempenho geral da empresa, torna-se essencial avaliar a situação inicial com base em indicadores base de desempenho. No entanto, nem sempre os dados relativos aos seus processos são recolhidos e processados com a quantidade e qualidade necessárias (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013).

Neste artigo, estudar-se-á o estado inicial do setor da costura de uma empresa têxtil, no qual se irão detetar ineficiências e, recorrendo a ferramentas *Lean*, propor ações de melhoria para as minimizar e/ou eliminar. Em seguida, procede-se ao cálculo do OEE e à análise dos valores obtidos.

Por fim, apresentar-se-ão as principais dificuldades sentidas no cálculo do OEE e, ainda, as ações de melhoria implementadas para melhorar a fiabilidade deste indicador (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013).

2. Enquadramento teórico

O *Lean Production* baseia os seus princípios no TPS desenvolvido pelo engenheiro Ohno, com o objetivo de eliminar o desperdício (Howell, 1999). O *Lean* inclui diversas técnicas que visam a eficiência, além de preservar o valor com base na otimização do fluxo. Segundo Radnor et al., (2012) o *Lean* é uma prática de gestão baseada na filosofia de melhoria contínua dos processos, que aumenta o valor do cliente e reduz as atividades que não agregam valor (*Muda*), a variação de processos (*Mura*) e as más condições de trabalho (*Muri*). Ohno, (1988) identificou um conjunto base de sete desperdícios (*Muda*), sendo que Womack et al., (2007) consideram ainda outro, o subaproveitamento dos colaboradores, contabilizando oito desperdícios que a seguir se apresentam.

Tabela 1 – Os oito tipos de desperdício.

TIPO DE DESPERDÍCIO	DESCRIÇÃO
Excesso de Produção	Não produz apenas a quantidade necessária originando um aumento de stock e possíveis atrasos na entrega.
Esperas	Ocorre sempre que o produto não está a ser movimentado ou processado. Não se refere exclusivamente ao produto como também ao colaborador.
Movimentos desnecessários	Refere-se a movimentos que não agregam valor, devido ao *layout* estar mal organizado e/ou os sistemas de transporte serem pouco flexíveis.
Processamento desnecessário	Refere-se a máquinas e a processos que não possuem qualidade, fruto de operações ou instruções de trabalho mal concebidas, falta de formação, falta de padronização dos processos e especificações de qualidade mais rigorosas que o necessário.
Inventário	Armazenamento excessivo que ocorre quando o tempo de mudança de ferramentas é elevado, a empresa não aplica *Just In Time*, há gargalos e o *layout* não é eficiente.
Transporte desnecessário	Envolve qualquer movimentação do bem, por exemplo manuseio duplo e movimentos excessivos.
Defeitos	Peças que não respeitam os requisitos do cliente, por exemplo devido ao transporte, às movimentações e à ausência de procedimentos.
Subaproveitamento do colaborador	Refere-se à utilização de mais recursos humanos do que o necessário, não os envolvendo na melhoria do processo e não aproveitando o potencial individual.

As organizações devem focar-se na identificação de desperdícios e aplicar ferramentas *Lean*, como TPM (*Total Productive Maintenance*), SMED (*Single Minute Exchange of Die*), *Poka Yoke*, *Just In Time*, *Kanban*, *Standard Work* e *Kaizen* de forma a minimizá-los ou eliminá-los.
Para se avaliar a eficácia da implementação do *Lean* é necessário medir os processos, no início e no fim, para determinar os ganhos obtidos. Para isso, utilizam-se indicadores de desempenho, mais conhecidos por KPI, *Key Performance Indicators*. Um dos indicadores é o OEE, que tem vindo a ser reconhecido como uma ferramenta importante para monitorizar e melhorar as capacidades de desempenho, visando a implementação *Lean* (Soltanali et al., 2021).

Este indicador, introduzido primeiramente na TPM para atingir zero quebras e zero defeitos, permite não só avaliar o desempenho geral de equipamentos, em conjunto ou individualmente, como também destaca a capacidade de produção oculta da organização. A implementação e a monitorização do OEE induzem vários benefícios tais como, a identificação de perdas e a sua quantidade, a redução do tempo de paragem total, o aumento da produtividade, auxiliando na melhoria dos resultados da qualidade e na redução de custos (Šajdlerová et al., 2020). Este indicador permite também identificar problemas nos equipamentos promovendo melhorias de processo e aumento da sua vida útil.

O OEE é calculado através do produto dos índices de disponibilidade, desempenho e qualidade (equação (1)) (Nakajima, 1988). Soltanali et al., (2021) referem que "*a principal vantagem do OEE em comparação com outros KPI é que une três fatores separados num único valor numérico, que é reconhecido como um indicador de desempenho geral*".

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (1)$$

O desempenho é a relação entre o tempo líquido de produção e o tempo de funcionamento do equipamento, (equação (2) ou (3)).

$$Desempenho = \frac{Tempo\ líquido\ de\ produção}{Tempo\ de\ funcionamento} \quad (2)$$

$$Desempenho = \frac{Tempo\ de\ ciclo\ \times Produção\ Total}{Tempo\ de\ funcionamento} \quad (3)$$

A disponibilidade indica o tempo de funcionamento em relação ao tempo planeado, (equação (4)).

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ funcionamento}{Tempo\ planeado} \quad (4)$$

A qualidade indica-nos a produção considerada conforme em relação à produção total, (equação (5) ou (6)).

$$Qualidade = \frac{Tempo\ de\ produção\ OK}{Tempo\ líquido\ de\ produção} \quad (5)$$

$$Qualidade = \frac{Produção\ OK}{Produção\ Total} \quad (6)$$

Assim, o OEE pode ser calculado, de forma simplificada pela seguinte equação:

$$OEE = \frac{Total\ de\ peças\ OK\ \times Tempo\ de\ ciclo\ ideal}{Tempo\ planeado} \quad (7)$$

Baseando-se nas experiências e resultados obtidos pelas empresas vencedoras do prémio *TPM Award*, definido pelo *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), Nakajima, (1988) apresenta 85% como o valor de referência do OEE, sendo que as empresas que ganharam o prémio obtiveram um valor superior. Para se atingir essa meta do OEE de classe mundial o valor de referência de disponibilidade tem de ser superior a 90%, o de desempenho superior a 95% e o de qualidade superior a 99%. Vorne, (2023) refere que o importante não é fixar no valor absoluto (85%), mas sim na capacidade de melhorar esse número. Conforme apresentado por Zhou et al., (2020), para se atingir o OEE de classe mundial de 85%, deve-se começar por identificar e medir as perdas do processo e encontrar as causas raiz das perdas. Tajiri & Gotoh, (1999) identificaram seis principais tipos de perdas que afetam o OEE de um equipamento ou organização (Tabela 2).

Tabela 2 - Os seis tipos de perdas do OEE.

TIPOS DE PERDAS NO OEE		CAUSAS
Disponibilidade	Perdas por avarias	Defeitos nos equipamentos e que necessitam de reparação.
	Perdas por *setup* e ajuste	Mudanças nas condições operacionais, como o início da produção ou turno, mudança de produto e das condições de operação.
Desempenho	Perdas por micro paragens	Todas as pequenas paragens que não conseguem ser corrigidas dentro de 10 minutos, como paragens de máquina, travamento e marcha lenta.
	Perdas de velocidade	O equipamento não funciona à velocidade original ou teórica, uma vez que a utilização de velocidades de operação mais elevadas está relacionada a um aumento da frequência de defeitos de qualidade e de pequenas paragens.
Qualidade	Perdas por defeitos de qualidade e retrabalho	Produtos fora das especificações ou produzidos com defeitos.
	Perdas de rendimento	Matéria prima não utilizada ou desperdiçada.

O desempenho é afetado pela redução de velocidade, por exemplo, alguma anomalia que obrigue o equipamento a operar com tempo de ciclo maior que o tempo padronizado. Além disso, pequenas paragens e interrupções devido ao mau funcionamento do equipamento condicionam o desempenho, podendo ser minimizadas recorrendo a manutenção preventiva.
Relativamente às paragens do equipamento, há uma interligação entre o índice de desempenho e disponibilidade. Segundo Fonseca, (2017) há flexibilidade para se definir o limite entre uma perda de desempenho e disponibilidade. A autora indica que uma boa regra é definir um tempo limite. As paragens que sejam inferiores a esse tempo são perdas de desempenho, tempo de inatividade não registado, no qual o operador tenta resolver o motivo da paragem, mas não a assinala. As paragens que sejam superiores ao tempo pré-definido são consideradas perdas de disponibilidade, sendo que o operador não pode fazer nada para resolver a paragem, reportando o problema à manutenção.
A disponibilidade é usada para medir a perda devido ao tempo de inatividade, como avaria, falha do equipamento, substituição de peça e escassez de matéria prima, entre outros (Zhu, 2011). Se a recolha de dados for manual, considera-se apenas o acontecimento que pare a produção planeada por um tempo considerável, por exemplo 10 minutos, para o operador apontar uma razão. As paragens numa linha de produção podem condicionar não só a perda de desempenho, como problemas de qualidade (Soltanali et al., 2021).
A qualidade é influenciada pelos defeitos, retrabalho e defeitos no arranque.

Assim, a eliminação ou redução das seis perdas requer, não só, que a manutenção e produção atuem na melhoria contínua como também outras áreas, como a qualidade e a engenharia. Para Hansen, (2006) a identificação de perdas no processo é a atividade mais importante na utilização do OEE. Se a empresa apresentar limitações para identificar perdas, impede que sejam restabelecidas as condições originais dos equipamentos, não sendo possível atingir a eficiência global.

O cálculo do OEE apresenta, no entanto, algumas limitações, como por exemplo a dificuldade de definir e medir o tempo de ciclo dos processos e as micro paragens (De Ron & Rooda, 2005). Em relação à eficiência interna, apresenta uma visão limitada, pois considera apenas as paragens causadas por problemas de manutenção e produção. Quanto à eficiência externa, o OEE não abrange perdas externas que afetam o fluxo.

3. Desenvolvimento do Caso de Estudo

3.1. A secção de costura da empresa têxtil

O primeiro passo do processo da empresa têxtil em estudo é a laminação dos materiais têxteis. Uma das matérias primas obrigatória é espuma podendo a outra variar, por exemplo, entre tecido, napa e TNT, dependendo do material do produto esperado. Em seguida, bobina-se e embala-se o material. É nesta fase que se procede à inspeção, sinalizando-se os defeitos, para serem facilmente detetados no processo seguinte, o corte. O corte é realizado através de máquinas CNC, que permitem cortar várias camadas e otimizar o corte do material. As peças cortadas podem prosseguir para o setor da costura, no qual se podem costurar duas tipologias de linha disponíveis: funcional, que une peças e decorativas, para embelezar a peça. O setor da costura é constituído por máquinas automáticas e manuais.
A Figura 1 mostra duas máquinas de costura automáticas, uma Juki e uma KSL. A KSL é uma CNC com cabeça rotativa e sistema de troca de modelo automático, enquanto na Juki é a palete, ou seja, a estrutura de suporte, onde se coloca a peça para costurar, que se desloca.

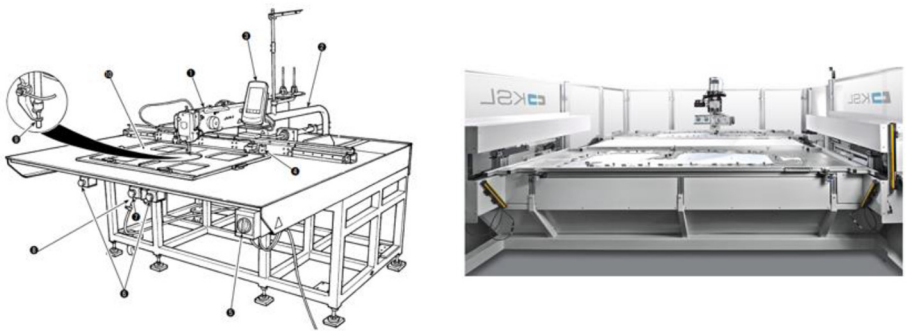


Figura 1- Máquinas de costura: à esquerda Juki (JUKI, 2023) e à direita KSL (KSL, 2023)

No caso das Juki, cada uma das peças é colocada na palete, depois fecha-se a palete e acopla-se na máquina (Figura 2). Em seguida, seleciona-se o respetivo programa e inicia-se o processo de costura.



Figura 2-Peça a costurar na palete.

O programa é elaborado pelo técnico de processo, que define a trajetória da palete e grava o programa num cartão de memória sendo depois inserido na máquina. Depois de terminado o processo, as peças costuradas são inspecionadas, verificando-se, por exemplo, os remates, espaçamento entre linhas e dimensão da peça recorrendo-se ao *gabarit*. Em situações de falha de remate, o colaborador pode, dependendo do material, retrabalhar a peça. No caso da peça não estar conforme é considerada sucata, caso contrário é colocada no sítio definido, geralmente em conjuntos de 20 peças. Posteriormente, procede-se ao embalamento com filme plástico e coloca-se em caixas. Quando a caixa se encontra completa, o colaborador necessita de ir ao sistema e imprimir a etiqueta de identificação. Estas caixas encontram-se numa palete que quando estiver completa, irá ser deslocada para o armazém para ser enviada para o cliente.

3.2. Diagnóstico da situação inicial e sugestões de melhoria

No seguimento do *Gemba Walk* foi possível identificar algumas atividades que podiam ser melhoradas, apresentadas na Tabela 3. Estas atividades foram categorizadas de acordo com os oito desperdícios e as seis perdas no OEE, sendo em seguida apresentadas propostas de melhorias para as minimizar e/ou eliminar.

Tabela 3 - Identificação da situação inicial, dos desperdícios e perdas associados e apresentação de propostas de melhoria.

SITUAÇÃO INICIAL	TIPOS DE DESPERDÍCIOS	TIPOS DE PERDAS NO OEE	PROPOSTA DE MELHORIA
O WIP não está organizado por projeto, nem o espaço está otimizado.	Movimentações Esperas	Micro paragens	Gestão Visual do WIP, organizado por projeto. Colocar as caixas na palete conforme o lado da peça.
Na troca de projeto, o colaborador desloca-se a vários sítios para ir buscar o material necessário.	Movimentações Transporte	*Setup* e Ajustes	Criação de Kits para cada projeto.
Afinações na troca de projeto demorada e causadora de defeitos.	Defeitos Esperas	*Setup* e Ajustes Perdas de rendimento	Aplicar a metodologia SMED.
Equipamento apresenta frequentemente falhas e avarias.	Defeitos	Avarias Perdas de velocidade Perdas de rendimento	Implementar a metodologia FMEA, sendo a base para construir um plano de manutenção preventiva. A longo prazo, estudar a implementação de sensores para efetuar manutenção preditiva.
Problemas a costurar algumas referências que não se corrigem e levam, por vezes, à desativação dessa referência.	Defeitos	Micro paragens Avarias	Em caso de ocorrência de defeitos numa referência específica dever-se-ia identificar e tentar eliminar ou reduzir a causa raiz.
A triagem nem sempre é confiável, originando retrabalho.	Processamento desnecessário	Retrabalho	Alargar o período de formação e garantir que os colaboradores conhecem todos os parâmetros para aceitar ou rejeitar a peça.

SITUAÇÃO INICIAL	TIPOS DE DESPERDÍCIOS	TIPOS DE PERDAS NO OEE	PROPOSTA DE MELHORIA
Registo preenchido manualmente sendo no final do turno inserida a produção e defeitos no sistema. Além disso, não há padronização no preenchimento do mesmo, nem se documenta todos os dados importantes, condicionando o valor de OEE.	Esperas Movimentações		Alterar o registo de produção e divulgá-lo pelo setor da costura. Dar formação aos colaboradores da importância de apresentar todos os dados. No futuro, poder-se-ia pensar em implementar equipamentos, por exemplo: *tablets*, que funcionassem como registos de produção. Investir num sistema automático de recolha de dados para automatizar o OEE.

As referências no WIP (*Work In Progress*) da costura, apesar de possuírem caixas etiquetadas, não são facilmente identificáveis. Além disso, por vezes, encontram-se várias caixas com a mesma referência distribuídas separadamente. Em paralelo, estas caixas estão a ser precisas no setor do corte, a fase anterior do processo. Assim, ao facilitar o processo de procura da costura, inevitavelmente, as deslocações dos operadores do corte tornar-se-ão mais eficientes e eficazes. Assim sendo, sugere-se apresentar visualmente o *layout* do WIP, identificando por projeto. Outra sugestão, que surgiu em conversa com os colaboradores é colocar as caixas na palete de acordo com a referência da peça, ou seja, peças esquerdas colocadas no lado esquerdo da palete, e as peças direitas colocadas no lado direito da palete. Desta forma, identificava-se o lado de cada referência, evitando a verificação de todas as caixas. Esta tarefa é efetuada por alguns colaboradores, contudo não se encontra padronizada.
Outra situação que pode ser melhorada é o tempo de *setup*. Como a troca de projeto requer troca de palete e geralmente troca de linha e de canela, propõe-se a criação de Kits, contendo todas as ferramentas e consumíveis necessários para cada projeto. Assim, no momento da troca de projeto, o operador deslocar-se-ia apenas a um sítio e transportaria todo o material necessário, em vez de se deslocar várias vezes a diferentes lugares. Esta tarefa poderia ser desempenhada por outro colaborador ou pelo supervisor, para que a troca de projeto pudesse ser mais rápida.

Depois de se ter todo o material necessário é crucial afinar a máquina, para garantir uma costura correta. Contudo, este processo por vezes é demorado e, nem sempre o operador consegue efetuar de forma autónoma sendo necessário a intervenção da manutenção. A afinação representa não só a paragem da máquina, como também é responsável por defeitos de arranque. Posto isto, seria relevante reunir a equipa de manutenção, os colaboradores da costura e o responsável da produção para aplicar a metodologia SMED.
Durante o *Gemba Walk*, verificou-se que os equipamentos da costura apresentam várias falhas e avarias, sendo necessário construir, inicialmente, um plano de manutenção preventiva em detrimento da corretiva, que afeta a disponibilidade. A manutenção também atua quando há defeitos numa referência específica, contudo quando não os minimiza a referência acaba por ser desativada, em vez de se identificar a causa raiz.
No final da costura, o colaborador tem de inspecionar, visualmente, a peça, fazendo uma triagem de todas as peças costuradas. O processo de triagem não é confiável, havendo situações de retrabalho quando o colaborador é iniciante. Assim, seria vantajoso alargar o período de formação do operador e torná-lo autónomo apenas quando estivesse apto.
Durante o turno, o operador tem de preencher, manualmente, o registo de produção e no fim inserir as peças rejeitadas no sistema informático e retirar as etiquetas de identificação, o que nem sempre é imediato. O procedimento não é uniforme e, consequentemente, é suscetível a erros e omissões, prejudicando a fiabilidade dos dados. Desta forma, torna-se imperioso alterar o registo da produção e sensibilizar os operadores para a importância do seu correto preenchimento. Uma solução alternativa seria preencher os dados digitalmente, por exemplo através de um *tablet*. Esta sugestão apresentava inúmeras vantagens como minimizar o tempo de espera e o tempo de paragem da máquina, dado que o operador inseriria a informação no seu dispositivo quando possível. Seria vantajoso implementar um sistema automático de recolha de dados, para assegurar dados realistas e em tempo real relativos aos tempos de paragem e de produção. Deste modo, eliminava-se de uma forma mais efetiva a falta de fiabilidade e a necessidade de rever os registos de produção.
É de notar a importância de ter dados rigorosos e fiáveis de forma a analisar a evolução do valor de determinados KPI, entre os quais do OEE, tornando-se mais fácil conhecer o impacto da implementação das propostas de melhoria.

3.3. Cálculo do OEE

As máquinas do setor da costura não possuem um sistema automatizado de recolha de dados, sendo o operador o responsável por inserir todos os dados relevantes no registo de produção. O operador deve de hora a hora, registar os dados de produção: peças boas, rejeitados, avarias e outros dados que considere relevantes. No final do turno, entrega o registo ao supervisor.

Os dados dos registos de produção são, posteriormente, introduzidos numa folha de cálculo e tratados para se calcular os componentes do OEE, ou seja, o tempo planeado, as paragens programadas e não programadas, o tempo de funcionamento, o tempo de produção OK, o tempo de produção NOK, a produção (peças boas) e os defeitos. De seguida, calcula-se a disponibilidade, desempenho, qualidade, e por fim, o OEE.
Primeiramente, calculou-se o tempo planeado e as paragens planeadas para cada turno. Recorrendo ao registo de produção foi possível conhecer as paragens não planeadas, calculando-se assim o tempo de funcionamento.
De seguida, procedeu-se ao cálculo do desempenho, no qual através dos objetivos de produção definidos pela empresa, inferiu-se o tempo de ciclo da costura por projeto.
O índice da qualidade obteve-se através da produção total, peças conformes e peças não conformes recolhidas dos registos de produção. Por fim, calculou-se o valor de OEE para cada máquina e fez-se uma análise crítica à qualidade dos dados, na sequência da qual se implementaram algumas ações para a melhorar.

3.3.1. Disponibilidade

Este parâmetro é condicionado por paragens planeadas e não planeadas. As paragens planeadas consideradas no cálculo são os intervalos para refeições, que não são obrigatórios e que por vezes os colaboradores não utilizam na totalidade, afetando, positivamente, a disponibilidade. Isto pode dever-se a três situações: avarias que provocam atrasos na produção da carga, sendo necessário conciliar os intervalos entre os operadores; pedido do cliente ser superior ao esperado, obrigando as máquinas a trabalhar na sua capacidade máxima, sem paragens ou ao trabalho dos colaboradores em formação, que "cobrem" os intervalos. Relativamente a paragens não planeadas, a espera pela manutenção e de peças de reserva são as mais frequentes, condicionando negativamente este parâmetro. Outras paragens não planeadas podem ser ajustes do programa pela engenharia, agulha de costura incorreta, avarias e falhas e organizar o posto de trabalho antes de começar o turno.

Como se apresenta na Tabela 4, a Juki 26 e a KSL 2 apresentam uma disponibilidade superior em abril do que no início do estudo, em fevereiro, enquanto que na Juki 25 e na KSL 1 ocorre o contrário.

Tabela 4 – Valores de Disponibilidade da Costura.

	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL
Juki 25	99%	98%	97%
Juki 26	93%	94%	97%
KSL 1	97%	100%	92%
KSL 2	94%	89%	95%

3.3.2. Desempenho

O desempenho é afetado por perdas de velocidade, que ocorrem para minimizar avarias e evitar rejeitados, e micro paragens, ou seja, pequenas paragens devido ao mau funcionamento do equipamento. O desempenho varia também com a experiência do colaborador, sendo expectável que um colaborador experiente responda mais eficaz e eficientemente a micro paragens.
É de notar que os valores de desempenho, Tabela 5, apresentam, em geral, um valor crescente nos três meses de estudo. A KSL2 apresenta um aumento para 98%, sendo a única máquina a obter um valor superior ao de referência (95%). Este aumento deveu-se à alteração do programa de costura, que minimizou o tempo de ciclo. A KSL 1 apresenta uma diminuição para 93% devido a micro paragens, tais como a palete ter bloqueado, ter perdido a referência dos pontos, não ter cortado a linha, ter de reiniciar a máquina, rutura de fio e a erros no programa. Na Juki 25 e Juki 26 houve um aumento, devido à implementação do sistema de duas paletes, que eliminou micro paragens e atividades de *setup* indefinidas.

Tabela 5 – Valores de Desempenho da Costura.

	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL
Juki 25	86%	93%	93%
Juki 26	90%	88%	95%
KSL 1	95%	95%	93%
KSL 2	93%	96%	98%

3.3.3. Qualidade

Na Tabela 6 apresentam-se os valores de qualidade da costura, no qual se verifica que os valores não variam significativamente. Ambas as Jukis apresentam o mesmo valor durante os três meses. A KSL 1 apresenta um valor igual ao valor de referência (99%). A KSL 2, apresenta um ligeiro decréscimo devido a problemas no equipamento que afetam a qualidade da peça.

Tabela 6 – Valores de Qualidade da Costura.

	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL
Juki 25	98%	98%	98%
Juki 26	98%	98%	98%
KSL 1	100%	100%	99%
KSL 2	98%	96%	97%

Este índice está relacionado com a experiência do colaborador, uma vez que um colaborador experiente consegue evitar a produção de peças não conformes e que na ocorrência de defeitos, toma ações imediatas de modo a eliminar as causas.

3.3.4. OEE

Depois de calculados os três parâmetros, calculou-se por fim o valor de OEE. Na Figura 3 apresentam-se os valores mensais de OEE de cada máquina (escala da direita) e os valores dos parâmetros (escala da esquerda). A Juki 25 apresenta um acréscimo do desempenho, não havendo grandes variações na disponibilidade e na qualidade. A Juki 26 tem um acréscimo da disponibilidade e do desempenho, mantendo-se constante a qualidade. Quanto à KSL 1 verifica-se, em geral, um decréscimo da disponibilidade, desempenho e qualidade. O desempenho da KSL 2 aumentou, gradualmente, enquanto que a qualidade diminuiu e a disponibilidade aumentou residualmente. Posto isto, parece ter havido um aumento generalizado do valor de OEE de fevereiro para abril. Este encontra-se dentro dos valores de referência mundial, sendo a KSL 2 a máquina com um valor mais elevado (91%), seguida da Juki 26, Juki 25 e, por fim, KSL 1. O aumento do desempenho e da disponibilidade permitiu atingir o valor de referência mundial, uma vez que a qualidade se manteve, praticamente, inalterada durante os três meses.

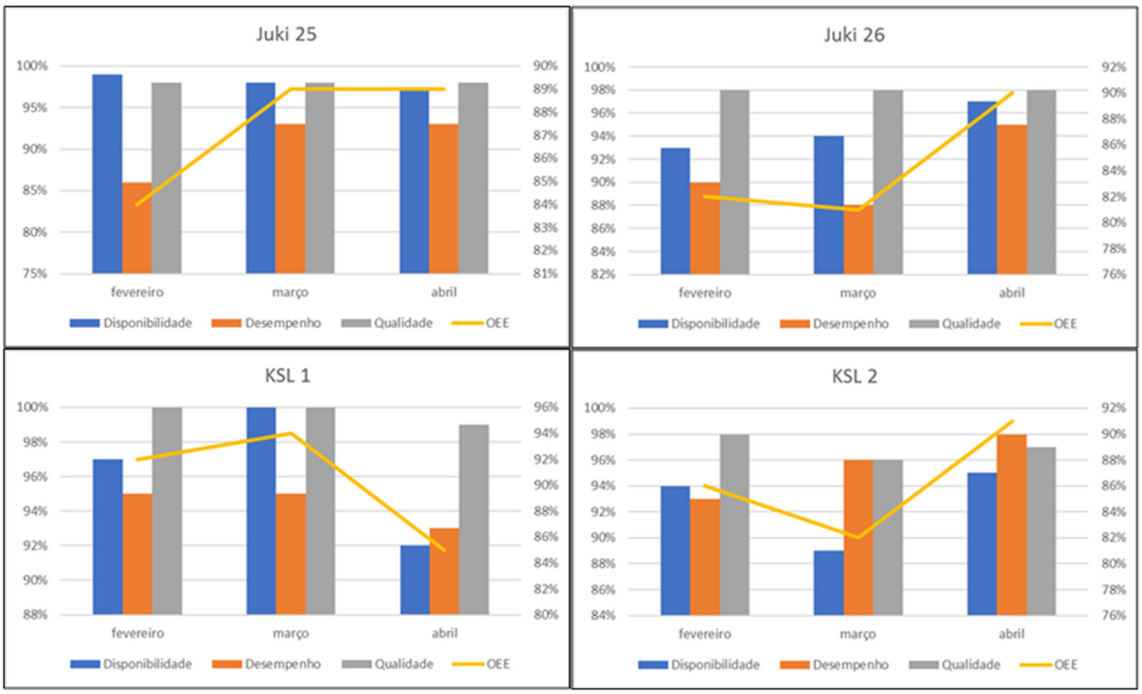


Figura 3-Evolução dos valores de disponibilidade, desempenho, qualidade e OEE da costura durante fevereiro, março e abril.

3.3.5 Análise crítica ao cálculo do OEE e ações de melhoria

Antes de se iniciar o cálculo do OEE, compararam-se os dados inseridos nos registos de produção com a realidade de modo a verificar a fiabilidade dos mesmos. Concluiu-se que nem todos os dados relevantes estavam registados o que pode colocar em causa a fiabilidade do OEE calculado nas secções anteriores. Quando há avarias no equipamento, o colaborador nem sempre apresenta o motivo nem o tempo de paragem. Além disso, nem todos os campos do registo são preenchidos uniformemente, por exemplo a referência, pois há quem preenchesse com a do cliente e outros com a do produto. No campo dos rejeitados, por vezes o colaborador indica apenas o total, sem os quantificar por projeto. Desta forma, é necessário consultar o sistema informático para obter os restantes dados, tornando o processo de recolha de dados mais complexo e propenso a erros.
Em conversa com os colaboradores concluiu-se que há falta de controlo no preenchimento do registo de produção e, em consequência, não consideravam importante apresentar todas as paragens e indicar o motivo de defeitos. É fundamental, apresentar a necessidade de se preencher um registo com todos os acontecimentos ocorridos no turno. Os registos permitem, de forma fácil e prática, conhecer com rigor o desempenho do colaborador, mas também do equipamento. Quando se apresenta um fraco desempenho e não se identificou qualquer paragem não programada, é necessário perceber a causa e intervir.
Outra dificuldade sentida é quando há troca do operador habitual na máquina ou a máquina não funciona. No caso da primeira situação, alocava-se um ou mais colaboradores menos experientes e por vezes de outro setor. Estes preenchiam o seu registo de produção, apresentando no campo da produção ou nas observações a alteração temporária do posto de trabalho, geralmente não indicando no campo máquina. Assim, no momento da consulta dos registos de produção, quando não se encontrava o registo da máquina de costura, era necessário analisar todos os registos para garantir que a máquina não tinha funcionado. Assim, uma solução é haver um registo de produção por máquina e não por pessoa, facilitando a recolha dos dados.
Para colmatar estes problemas e aumentar a disponibilidade e fiabilidade dos dados de produção, propôs-se a alteração do registo de produção. Seguiu-se a sua divulgação pelo setor, visando a padronização do preenchimento do mesmo.
Na Tabela 7 apresenta-se um excerto do antigo registo, que não permitia, facilmente, quantificar o tempo de paragem, uma vez que continha um campo para avarias e um para observações que nem todos os colaboradores utilizavam. Os novos campos adicionados no registo de produção, Tabela 8, permitem obter dados mais detalhados acerca dos rejeitados, da duração das paragens por tipologia e do tempo de *setup*.

Tabela 7- Tabela utilizada no antigo registo de produção para recolher dados de paragem.

AVARIAS
OBSERVAÇÕES

Tabela 8-Tabela adicional ao registo de produção.

REJEITADOS	**QUANTIDADE**	**PARAGENS**	**TEMPO**
Remate NOK		**AFINAÇÕES POR:**	
Tensão de linha		Ponto corrido	
Ponto corrido		Linha esfiapada	
Ponto falso		Ponto solto	
Fim de canela		Costura desviada	
Geometria NOK			
Linha esfiapada			
Costura descentrada		**TROCA DE PROJETO**	**TEMPO**
Descolados		→OV PVC	
Costura irregular		→OV Alcântara	
Largura costura NOK		→P1U0	
Linha torcida		→ZAFIRA	
Recuperação NOK		→P2QO	
Marcas		→P2QO Alcântara	
Total			

Para garantir a implementação do novo procedimento é necessário que o supervisor confira se está devidamente preenchido e, caso contrário, questione o colaborador. O supervisor deve também motivar os colaboradores e explicar a importância de se apresentarem os principais problemas, de forma a poderem ser resolvidos o mais rapidamente possível.

Com o intuito do novo registo de produção ser preenchido corretamente e da mesma forma por todos os colaboradores, foi dada uma explicação das alterações bem como, da sua relevância. Além disso, foi dada uma formação aos colaboradores relativamente ao OEE, começando por evidenciar a correlação entre perdas e OEE. Deu-se enfâse à necessidade de informar o motivo e apresentar uma estimativa da duração das pausas não planeadas no registo de produção. Reforçou-se ainda a ideia de que desperdícios como deslocações e esperas afetam o valor deste indicador, sendo fulcral minimizá-las.
Não foi possível mensurar esta implementação até ao final do estudo, contudo é de esperar que o valor do OEE obtido seja mais realista, esperando-se uma diminuição, essencialmente, da disponibilidade. Como o operador não registava as paragens de disponibilidade, superiores a 10 minutos, o índice de desempenho era afetado, ao contrário do da disponibilidade. A implementação do novo registo, aliada à formação, irá permitir reverter esta situação, esperando-se uma diminuição do valor da disponibilidade, contudo mais fidedigno. Desta forma, o valor do desempenho deve aumentar, uma vez que o tempo de produção real será próximo do tempo de produção esperado. Em relação, ao valor da qualidade espera-se que sofra uma diminuição, visto que alguns operadores não apresentam defeitos nos registos, apenas inseriam no sistema informático. Assim, com a implementação do novo registo e o registo de todos os dados relevantes, o valor do OEE deve diminuir, mas apresentar mais fiabilidade, permitindo de uma forma mais correta a avaliação de ações de melhoria.

É de notar que informaticamente não há acesso a todos os dados apresentados nos registos de produção, mas apenas à quantidade de peças embaladas e rejeitadas. É de realçar que, permanentemente, são deixadas peças para o turno seguinte, o que condiciona o valor do desempenho. Desta forma, o cálculo do OEE apoiou-se nos registos de produção.
Para garantir que todas as peças costuradas são inseridas no respetivo turno, poder-se-ia introduzir digitalmente o registo, garantindo com precisão a produção do colaborador.

4. Conclusão

A análise da situação inicial aliada ao cálculo do OEE evidenciou um conjunto de oportunidades de melhoria, tais como problemas na recolha e processamento dos dados que põe em causa a sua fiabilidade. Assim sendo, implementou-se um novo registo de produção para melhorar a recolha de dados. Além disso, efetuaram-se ações de sensibilização e formação dos colaboradores para alertar da importância de preencher os registos com dados corretos e completos.

A implementação das ações sugeridas visam melhorar a qualidade dos dados, e, por conseguinte, calcular e analisar indicadores que reflitam a realidade. Assim, permite a existência de uma base mais fiável para avaliar o impacto das ações de melhoria no futuro. Para além disso, de forma a implementar todas as propostas de melhoria sugeridas será importante ter uma equipa multidisciplinar, explorando sinergias entre os diferentes setores, caso contrário torna-se difícil mudar os processos atuais. De seguida, é necessário definir e alinhar os objetivos de forma a serem claros, realistas e alcançáveis e rever as metas de produção para cada projeto.
Considera-se que a melhoria do processo de recolha de dados, poderá contribuir para aproveitar, no futuro, oportunidades de melhorar a disponibilidade, o desempenho e a qualidade. O envolvimento dos operadores de chão de fábrica revelou-se fundamental, confirmando tratar-se de um aspeto crucial em qualquer jornada de implementação de práticas *Lean*. É fulcral melhorar o trabalho em equipa, uma vez que a melhoria contínua é um processo demorado que deve envolver todos os colaboradores. Além disso, é necessário incutir na organização a filosofia *Lean* de modo a minimizar o receio da mudança, por parte de alguns colaboradores.
No futuro, é necessário estudar as vantagens de um investimento tecnológico neste setor, por exemplo implementando sensores para a recolha automática de paragens da máquina. Estes dados iriam garantir um valor de disponibilidade real, além de ser um grande contributo para a manutenção. As paragens por avarias seriam minimizadas se a manutenção começasse a atuar preventivamente, ao invés de atuar corretivamente, o que ocorre frequentemente. A manutenção deveria, também, analisar e estudar o ciclo de vida do equipamento, para garantir o bom funcionamento do mesmo. Outro investimento tecnológico sugerido é a implementação de sensores e *tablets* em cada máquina tendo como objetivo ter acesso a dados reais, completos e em tempo real, não havendo registos em papel. Posto isto, os dados estariam disponíveis a qualquer momento, podendo-se atuar no parâmetro mais critico. Assim, esperar-se-ia obter um valor mais satisfatório e real do OEE.

Referências

Bhamu, J., & Singh Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations &Production Management*, *34*(7), 876–940. https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315

De Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2005). Equipment effectiveness: OEE revisited. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, *18*(1), 190–196. https://doi.org/10.1109/TSM.2004.836657

Fonseca, A. C. R. (2017). *OEE-Aplicação transversal do indicador de gestão a empresa multinacional de componentes automóveis*.

Hansen, R. C. (2006). *Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros.* Bookman.

Howell, G. (1999). What is Lean construtions. *Proceedings IGLC*, *7*, 1–10.

JUKI. (2023). https://www.juki.co.jp/en/

Karim, A., & Arif-Uz-Zaman, K. (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Article in Business Process Management Journal*, *19*(1), 169–196. https://doi.org/10.1108/14637151311294912

KSL. (2023). https://www.pfaff-industrial.com/en/portfolio/cnc-units-and-automation/cnc-units/kl-110-airbag-ksl

Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, *20*(2), 5–20. https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productiviy Press.

Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. In *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor and Francis. https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429273018

Radnor, Z. J., Holweg, M., & Waring, J. (2012). Lean in healthcare: the unfilled promise? *Social Science & Medicine* , *74*(3), 364–371. https://doi.org/10.1016/J.SOCSCIMED.2011.02.011

Šajdlerová, I., Schindlerová, V., & Kratochvíl, J. (2020). Potential and Limits of OEE in the Total Productivity Management. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, *14*(2), 19–26. https://doi.org/10.12913/22998624/113617

Soltanali, H., Khojastehpour, M., & Torres Farinha, J. (2021). Measuring the production performance indicators for food processing industry. *Measurement*, *173*, 108394. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2020.108394

Tajiri, M., & Gotoh, F. (1999). *Autonomous Maintenance in Seven Steps: Implementing TPM on the Shop Floor*. Productivity Press. https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315137971

Vorne. (2023). *World-Class OEE*. https://www.oee.com/world-class-oee/

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. T. (2007). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*.

Zhou, J., Wang, Y., & Chua, Y. Q. (2020). Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment. *2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 1413–1418. https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248351

Zhu, X. (2011). Analysis and improvement of enterprise's equipment effectiveness based on OEE. *International Conference on Electronics, Communications and Control, ICECC 2011 - Proceedings*, 4167–4171. https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6067706

ID38
Gêmeos Digitais Híbridos e o Estudo de Caso na Indústria da Energia Eólica

S.P. Carvalho ([1]), J. A. Almeida ([1, 2])
sueidcarvalho@gmail.com; jalmeida@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+, Research Centre for Asset Management and Systems Engineering

Resumo

O Gêmeo Digital Híbrido é uma tecnologia que permite uma representação virtual de um sistema físico e revolucionou diversos setores, oferecendo uma melhor gestão, otimização e previsão nos sistemas. Utilizado para aprimorar a eficiência e a precisão em operações industriais, destacando-se em aplicações como manutenção preditiva e simulação de produtos. O objetivo deste trabalho é compreender sobre os Gêmeos Digitais, o seu funcionamento e analisar um caso de sucesso da sua aplicação. Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre Gêmeos Digitais e o estudo de caso que relata a aplicação prática desta tecnologia em um parque eólico, onde a implementação de Gêmeos Digitais Híbridos permitiu a antecipação de falhas e a manutenção preditiva, resultando em uma melhoria significativa no desempenho operacional. Além disso, o artigo discute os desafios enfrentados, como a integração de grandes volumes de dados e a necessidade de padronização dos sistemas.

Palavras-Chave: Gêmeo Digital Híbrido, Modelação Física, Modelação de Dados, Tecnologia, Manutenção, Energia eólica.

1. Introdução

Atualmente apesar da popularidade dos Gêmeos Digitais, segundo Allen (2021), a representação do “Digital Twin” nasce na NASA (National Aeronautics and Space Administration) em meados de 1960 para o programa Apollo 13, quando dois veículos espaciais idênticos foram construídos para realizar avaliações e simulações das condições em resposta à uma explosão que ocorreu no tanque de oxigênio e que gerou danos ao motor principal da aeronave. O suposto “Digital Twin (DT)” permitiu a modelação de alta fiabilidade que foi utilizada para explorar as soluções e prever os resultados.

Embora no início dos anos 2000 comece a surgir estudos e citações sobre o conceito, como foi introduzido em 2002 por Michael Grieves, na Universidade de Michigan, para abordar sobre o Product Lifecycle Management (PLM), no qual foi proposto três componentes: espaço real, espaço virtual e mecanismo de ligação para o fluxo de informações entre os dois, denominado de “Modelo de Espaços Espelhados”. Apenas em 2010, que surge a expressão “Digital Twin”, pela própria NASA (National Aeronautics and Space Administration) utilizando em seus roteiros tecnológicos para simulação de veículos espaciais e definindo como uma simulação multifísica, multiescala, probabilística e de alta fidelidade que são refletidos em tempo hábil, o estado com base em dados históricos e de sensores, o modelo real e o modelo físico. (Singh et Al, 2021)

Em seguida, a Força Aérea dos Estados Unidos da América começou a utilizar a tecnologia DT para projetos de manutenção de aeronaves, para prever fadigas, fissuras na estrutura e aumentar a vida útil da aeronave. (Singh et Al, 2021)

Ainda na década de 2000, o termo "Digital Twin" começou a ser popularizado também em setores como produção, engenharia, e outras indústrias, como uma abordagem para criar réplicas digitais de sistemas físicos. Esse conceito evoluiu para abranger não apenas modelação e simulação, mas também uma coleta contínua de dados em tempo real a partir de objetos físicos, resultando em uma representação dinâmica e altamente precisa.

Atualmente, os gêmeos digitais são utilizados em diversas áreas, desde manutenção preditiva de máquinas até uma ampla simulação de cidade inteligente.

2. Metodologia e Métodos

Para o presente trabalho realizou-se uma revisão bibliográfica. Segundo Galvao et al., (2017), a revisão bibliográfica é essencial porque permite especificar os objetivos com base no que já é conhecido, além de discutir resultados e quais os significados das pesquisas anteriores, analisando os impactos no campo científico, na sociedade ou em um contexto mais específico. (Galvao et al., 2017)
Para a busca de trabalhos como fontes de pesquisa, através da utilização de livros, normas, dissertações, teses, artigos e publicações, foram empregados os termos gêmeos digitais híbridos, manutenção e tecnologias na energia eólica. As bases de dados utilizadas nas pesquisas foram Google Scholar, Scielo, IEEE e MDPI.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 As cinco camadas dos Gêmeos Digitais

Os Gêmeos Digitais são categorizados e implementados em diferentes camadas, sempre variando de acordo com o nível de complexidade e das funcionalidades que oferecem. Esta categorização pode variar entre fontes e especialistas, mas estas são as cinco camadas comuns de Gêmeos Digitais de acordo com D.-Y. Jeong *et al*., 2022 e pode-se visualizar na Figura 1:

Camada 1: Virtualização Digital
Representa apenas uma variável ou parâmetro de um sistema físico, é uma representação utilizada para monitorar ou controlar um aspecto específico de um sistema.

Camada 2: Sincronização Dupla Digital
Representa dois ou mais parâmetros relacionados dentro de um sistema, permitindo uma análise de relações entre variáveis. Ocorrendo essa sincronização entre componentes do mundo real e do mundo virtual, com elementos estáticos e dinâmicos.

Camada 3: Modelação e Simulação
Neste nível, o Gêmeo Digital começa a representar aspectos tridimensionais de um sistema físico, incorporando informações mais complexas, como a geometria e a dinâmica espacial, no qual é possível analisar e prever o mundo real simulando alterações no Gêmeo Virtual.

Camada 4: Gêmeo Digital Federado
Um Gêmeo Digital Federado é altamente sofisticado e funciona como uma réplica digital de um sistema físico completo, incluindo informações sobre a estrutura, os componentes, o comportamento dinâmico e interações do sistema entre diversos Gêmeos Digitais. Portanto, é necessário o uso de tecnologias para interfuncionamento e a colaboração entre os Gêmeos, para utilizar sistema de identificação digital, gestão de meta-dados e troca mútua de informações.

Camada 5: Serviços de Gêmeos Digitais Inteligentes
É a camada mais avançada e envolve uma ampla combinação de modelos físicos e de dados em tempo real de maneira a criar a representação dinâmica e precisa do sistema físico, permitindo que ocorra a simulação em tempo real, a análise de dados em tempo real e a manutenção preditiva avançada, com tecnologias autônomas e plataformas relacionadas.

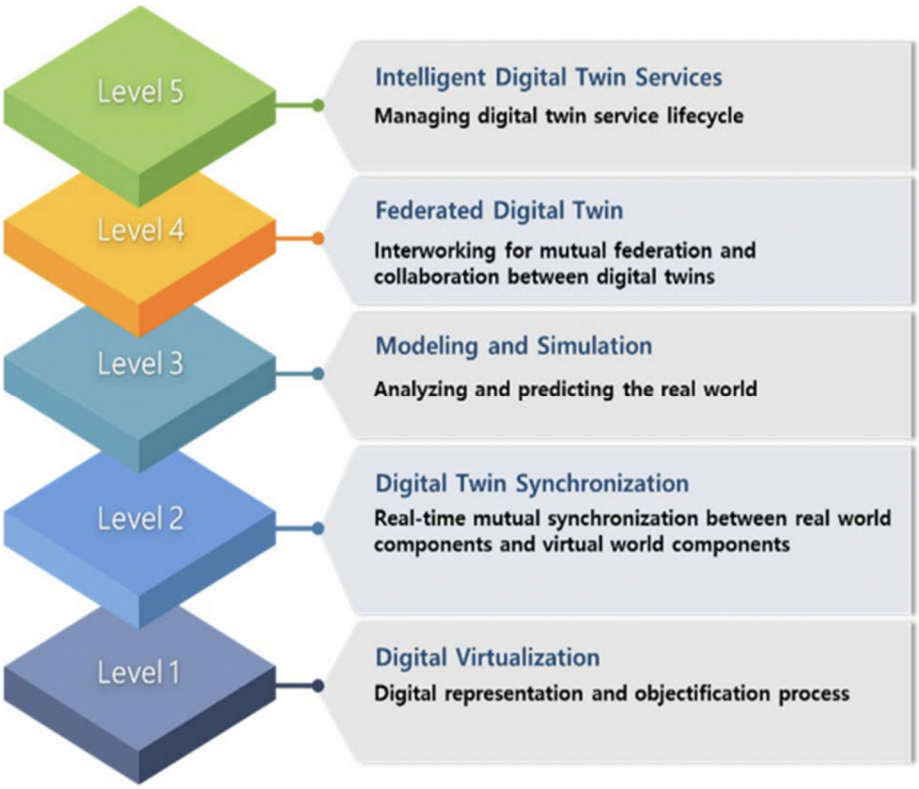


Figura 1. Camadas de implementação de Gêmeos Digitais (D.-Y. Jeong et al., 2022)

3.2 Aplicações em Diferentes Setores

Os Gêmeos Digitais estão sendo utilizados em diversos setores com extensa aplicação, e são usados para otimizar processos, melhorar a eficiência, reduzir custos e ajudar no apoio de tomadas de decisões cada vez mais informadas (Xin Liu et Al, 2023).

No setor de fabricação é cada vez mais usado para otimização de linhas de produção, monitorização de equipamentos e realização de manutenção preditiva. Também na parte de design de produtos, ajudando a simular o comportamento dos produtos, antecipando problemas e economizando tempo e recurso. Além do uso recorrente para o controle de qualidade, com inspeções virtuais que podem identificar defeitos e melhorar a qualidade final do produto.

No setor da energia, os gêmeos digitais são capazes de monitorar redes elétricas, otimizar a distribuição de energia e gerenciar a oferta e demanda, além de prever a produção de energia renovável e beneficiar da integração dessas fontes na rede.

No setor de construção e infraestrutura, os Gemêos Digitais podem auxiliar na modelação de projetos de construção, gerando um planeamento mais assertivo e detectando possíveis falhas. Além de poder gerenciar as infraestruturas urbanas em cidades inteligentes, como tráfego, iluminação e resíduos, economizando energia e recursos.

No setor aeroespacial e de defesa, essa tecnologia é usada para simular e prever o comportamento de aeronaves, navios e veículos militares, também auxiliam na manutenção preditiva de equipamentos complexos.
No setor de saúde, é possível criar modelos de órgãos e sistemas, que auxiliam em simulações médicas, pesquisas e procedimentos cirúrgicos, baseados em genética e histórico médico.

Essas são algumas de um universo de aplicações dos Gêmeos Digitais em diferentes setores. A aplicação e estudos envolvendo essa tecnologia está impulsionando o desenvolvimento para diversas áreas, trazendo inovação e proporcionando maior eficiência em diversos ramos. (Yao, 2023)

3.3 Modelos de Gêmeos Digitais

O Gêmeo Digital introduzido por Grieves (2014), aborda que para o pleno funcionamento era necessário uma parte física, uma parte virtual e a conexão que ocorria entre eles. Outros autores, como F. Tao et Al (2019), ampliaram esses conceitos para cinco, incluindo os dados e os serviços e no qual cita que "*as DT são caracterizadas pela integração perfeita entre os espaços cibernéticos e físicos"* e nessa perspectiva será abordado sobre os modelos físicos, os modelos de dados e as suas integrações, observado na Figura 2.

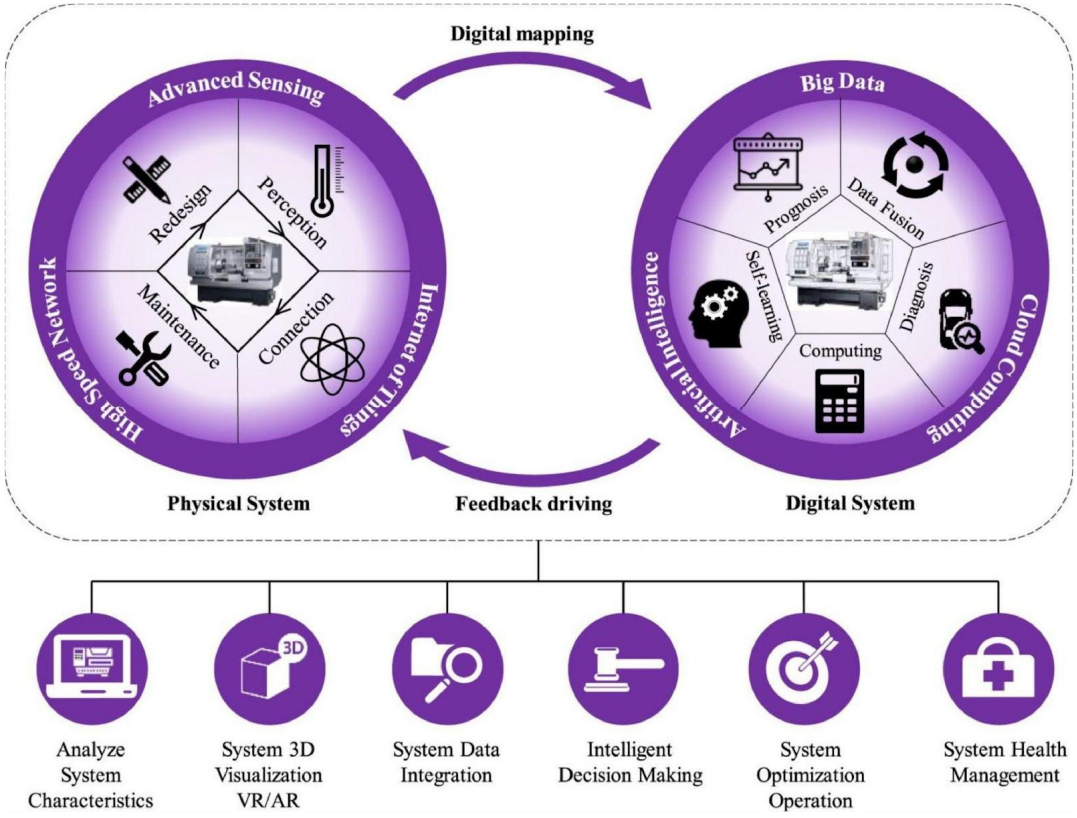


Figura 2. Modelação de um Gêmeo Digital (Mohsen, 2023).

3.3.1 Modelos Físicos

Os modelos físicos são uma parte fundamental dos Gêmeos Digitais, porque reflete a parte estática e teórica do sistema físico que está sendo replicado digitalmente. Os modelos físicos são construídos representando toda a estrutura e o comportamento do sistema físico que será duplicado no Gêmeo Digital, incluindo todos os componentes, propriedades físicas, geometria, relações entre os componentes e como eles interagem. Assim, os modelos físicos podem ser estáticos, que descrevem a estrutura física do sistema, ou podem ser dinâmicos, representando o comportamento durante um determinado tempo. (Langlotz et Al, 2022)

3.3.2 Modelos de Dados

Os modelos de dados de Gêmeos Digitais representam a parte dinâmica e em tempo real do sistema físico que está sendo replicado digitalmente. Nos modelos de dados, estes são alimentados por informações que são coletadas do sistema físico em tempo real, com a utilização de sensores, dispositivos de monitoramento, sistemas de aquisição de dados e outras fontes de dados em tempo real. Os dados que são encontrados incluem um amplo conjunto de informações, como leituras de sensores, precisão de temperatura, umidade, pressão, dados de GPS, registros de eventos, informações de qualidade, estado de componentes, entre outros. (Langlotz et Al, 2022)

A principal vantagem desses modelos é que são atualizados continuamente em tempo real, assim conforme novas coletas são realizadas, estes modelos de dados são atualizados para refletir as condições atuais do sistema. É possível visualizarmos os dados coletados em interfaces de usuário que permitem a monitorização em tempo real e análise, com gráficos, dashboards e outras ferramentas de visualização de dados. Isto facilita, para que os operadores e gestores tomadores de decisão sejam capazes de acompanhar o estado atual do sistema e responder a eventos e mudanças em tempo real. (Iannizzotto et Al, 2021)

De forma geral, a integração dos modelos físicos com os modelos de dados é que permite que os Gêmeos Digitais Híbridos sejam cada vez mais precisos. De forma a atualizar e aprimorar as informações que serão refletidas nas condições reais e que forneça uma visão dinâmica do sistema físico que está sendo replicado digitalmente. (Langlotz et Al, 2022)

3.4 Vantagens e Limitações de Cada Abordagem

Nos modelos físicos uma das suas principais vantagens é permitir identificar a compreensão do sistema e das suas interações, fornecendo uma visão ampla em contexto de pesquisa e no desenvolvimento, além de ser possível identificar problemas e melhorar alguns sistemas específicos. Como limitação, os modelos na sua maioria são estáticos e não possuem tanta precisão, além das incertezas e variações que podem ocorrer na sua representação. (Yao et Al, 2023)

Nos modelos de dados, o benefício primordial é o monitoramento contínuo e no tempo real do sistema, assim é possível ter uma visão atualizada das condições. Além de funcionar principalmente em casos de manutenção preditiva, já que é capaz de detectar falhas e problemas de forma precoce. Como fator limitante, pode-se considerar a dependência da qualidade e disponibilidade de dados de sensores, além do uso e a quantidade de dados em tempo real pode envolver questões como privacidade e segurança de dados. (Iannizzotto et Al, 2021)
Os modelos físicos e de dados têm vantagens, embora algumas limitações específicas, e a combinação dessas duas abordagens que sustenta os Gêmeos Digitais Híbridos, no qual visa aproveitar o melhor de ambos os mundos.

3.5 Abordagem Híbrida de Modelação de Gêmeos Digitais

Gêmeos Digitais Modelados Hibridamente, também conhecidos como H*ybrid Digital Twins* em inglês, são uma abordagem na qual os Gêmeos Digitais são criados através da combinação de modelos físicos e modelos de dados. Essa integração de modelos físicos e digitais visa fornecer uma representação mais precisa e dinâmica de um objeto físico, processo ou sistema. (Langlotz et Al, 2022)

Os Gêmeos Digitais Híbridos surgem da integração de modelos, os modelos de dados que são utilizados para atualizar e aprimorar os modelos físicos em tempo real, permitindo assim que o Gêmeo Digital reflita de forma precisa todas as condições e o comportamento atual do sistema físico. (Langlotz et Al, 2022)

Nos Gêmeos Digitais Híbridos combinam-se pontos das duas abordagens com características marcantes nesse tipo de modelo, como: Precisão e dinamismo, a integração do modelo físico e de dados em tempo real gera uma representação dinâmica e simulações cada vez mais realistas, fornecendo uma base sólida para prever falhar e tomar decisões assertivas, principalmente em cenários críticos (Abburu et Al, 2020). Entretanto, é um sistema complexo e para a integração é necessário uma robustez e infraestrutura sólida do projeto, além de ser ainda mais desafiador a escalabilidade em diversos sistemas. (Friederich et Al, 2022)

A implementação dos Gêmeos Digitais Híbridos é em diversas áreas, como produção, manutenção preditiva, cidades inteligentes, saúde, energia, transportes e muito mais. Eles permitem monitoramento em tempo real, simulações mais precisas e específicas em dados reais. Os Gêmeos Digitais Híbridos têm o potencial de revolucionar vários setores, proporcionando maior eficiência, economia de recursos e tomada de decisões mais informadas.

3.6 Desafios na Implementação de Gêmeos Digitais Híbridos

A integração de dados e modelos é uma parte essencial na implementação de Gêmeos Digitais Híbridos, e essa etapa enfrenta diversos desafios importantes. Um dos principais desafios é lidar com a diversidade de fontes de dados em tempo real, justamente porque os dados podem vir de uma variedade de sensores, dispositivos e sistemas diferentes, cada um com seu próprio formato e protocolo de comunicação. Realizar a integração dessas fontes de dados de maneira lógica é complexa. Inclusive, um segundo desafio é a padronização de dados, já que é

imprescindível para uma integração, os dados de diferentes fontes precisam ser formatados de maneira consistente para que sejam combinados e usados efetivamente nos modelos. Em sistemas complexos, a quantidade de dados gerados em tempo real pode ser imensa, lidar com grandes volumes de dados requer infraestrutura de dados robusta e escalável, o que pode ser um desafio financeiro e técnico. (Grives, 2014)
Além das aplicações críticas, como controle de sistemas em tempo real, a latência dos dados é um desafio, é necessário garantir que os dados cheguem ao modelo a tempo de tomar decisões é essencial. Considerando, a manutenção contínua e atualização do sistema de forma global, é necessário garantir que os modelos permaneçam precisos e práticos. (Yao et Al, 2023)
A coleta e a transmissão de dados em tempo real levantam questões de privacidade e segurança. É vital garantir que os dados sejam protegidos contra acessos não autorizados. Tudo isso demanda recursos e custos. A implementação de um Gêmeo Digital Híbrido com integração de dados e modelos exige investimento em infraestrutura, software, hardware e qualificação pessoal. No qual gerenciar os custos e os recursos envolvidos é um desafio significativo. (Yao et Al, 2023)

4. Estudo de Caso: Implementação de Gêmeo Digital Híbrido na Indústria de Energia Eólica

A demanda global por energia sustentável cresce cada vez mais, e por isso a necessidade de expansão dos parques eólicos. À medida que há essa necessidade, é importante analisar o posicionamento estratégico das turbinas e a integração com os sistemas para que a eficiência seja maximizada, além da redução de custos para manutenção dessas turbinas. (Froese, 2017)
Baseado no projeto WindTwin, que é uma iniciativa que envolve diversas empresas de energia e tecnologia, bem como instituições acadêmicas, no total são treze organizações líderes de sete países da Europa e tem como principal objetivo desenvolver os Gêmeos Digitais Híbridos para melhorar a operação e a manutenção de turbinas eólicas em parques eólicos. (TWI, 2017)
Com um investimento de seis milhões de euros, essa tecnologia promete revolucionar a previsão e a gestão da produção de energia eólica com a criação de um gêmeo digital que seja altamente preciso e dinâmico para os parques eólicos offshore. (Review Energy, 2017)
O estudo de caso foi um projeto de 30 meses e iniciou com a criação de modelos físicos detalhados das turbinas eólicas, incluindo informações sobre o design, as pás, os geradores eólicos, os sistemas de controle e as condições de vento. Esses modelos são como base para o Gêmeo Digital, permitindo simulações em tempo real e a geração de variação de desempenho, como observado na Figura 3. (Klarian, SD)
Para resolver os desafios enfrentados no contexto da energia eólica, a WinDTwin será uma plataforma digital sofisticada. Essa plataforma visa transformar a indústria ao oferecer previsões eficientes de produção de energia e demanda de energia. Funcionará como um hub central para tomadores de decisão, o que vai oferecer o acesso a diversos recursos, modelos, cenários e visualizações de alta qualidade, o que vai permitir realizar escolhas mais informadas e estratégicas na gestão de energia eólica offshore. (WavEC, 2024)



Figura 3. Visualização 3D para o projeto WindTwin (Klarian, SD).

Além disso, o projeto WindTwin incorpora uma coleta em tempo real de dados de sensores instalados nas turbinas eólicas. Isso inclui dados sobre vibração, temperatura, velocidade do vento, consumo de energia e outros parâmetros relevantes. Esses dados são integrados ao Gêmeo Digital, permitindo o monitoramento contínuo do estado das turbinas. (Klarian, SD)

Um aspecto inovador do projeto é a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo para analisar os dados em tempo real. Os algoritmos de aprendizado de máquina identificam padrões e anomalias no funcionamento das turbinas, permitindo a detecção precoce de problemas e a previsão de falhas potenciais. (TWI, 2020)

O WindTwin tem como foco os principais objetivos estratégicos: melhorar as previsões de vento e meteorológicas através de modelos refinados, layout ideal para desenvolver modelos espaciais precisos para redução de ineficiências, um controle eficaz das turbinas com sistemas de controle avançados, a utilização de energia sustentável, uso de simulações para obter previsões energéticas precisas, garantir uma conexão eficiente com as redes elétricas, modelar a demanda e as tendências de preço da eletricidade, monitorar e manter as turbinas com manutenções preditivas, adaptar as funcionalidades do gêmeo digital às necessidades do usuário, implementação de práticas eficazes de gestão de dados, além de promover a colaboração na indústria com ferramentas de código aberto e planear o desenvolvimento futuro e uso comercial do gêmeo digital. (Review Energy, 2017)

Como resultado, o projeto WindTwin proporcionou várias melhorias, como o sistema ser capaz de prever a necessidade de manutenção com base em dados em tempo real e específico de desempenho, reduzindo os tempos de inatividade não planeados e os custos de manutenção (TWI, 2020). Além da otimização de desempenho, permitindo o ajuste fino do ângulo das pás e outros parâmetros operacionais para maximizar a eficiência energética. A detecção precoce de problemas e a manutenção proativa também resultaram em economia de custos operacionais e consequentemente aumento da vida útil, com isto permite ampliar a vida útil das turbinas eólicas, reduzindo o investimento em substituições. (Klarian, SD)

O projeto WindTwin demonstra o potencial transformador dos Gêmeos Digitais Híbridos na indústria de energia eólica, melhorando a eficiência, a fiabilidade e a sustentabilidade das turbinas eólicas.

5. Conclusão

A revolução dos Gêmeos Digitais Híbridos está em pleno andamento, e a promessa de sistemas mais eficientes, confiáveis e seguros está cada vez mais ao nosso alcance. À medida que as organizações se adaptam a essa tecnologia, é crucial continuar a pesquisa, a inovação e a colaboração entre as diversas áreas para maximizar os benefícios dos Gêmeos Digitais Híbridos.
Os Gêmeos Digitais Híbridos estão transformando o futuro da indústria, da saúde, da energia, dos transportes e muito mais. O potencial é enorme e as aplicações são variadas. À medida que avançamos na era dos Gêmeos Digitais, a interseção entre modelos físicos e dados em tempo real continuará a despertar novas oportunidades e a possibilitar uma abordagem mais inteligente e eficaz para a gestão de sistemas físicos complexos.
A integração de modelos físicos e de dados no contexto de Gêmeos Digitais Híbridos oferece a capacidade de monitorar sistemas complexos, prever falhas, aprimorar o desempenho e tomar decisões baseadas em dados em tempo real. No entanto, isso também traz desafios, como a integração de sistemas de coleta de dados, a garantia de segurança e a privacidade.
Os Gêmeos Digitais Híbridos representam uma jornada emocionante para a próxima fronteira da tecnologia e da inovação. À medida que exploramos esse território é importante lembrar que a colaboração e a pesquisa contínua são a chave para aproveitar ao máximo essa revolução digital.

Referências

Abburu, S., Berre, AJ, Jacoby, M., Roman, D., Stojanovic, L., & Stojanovic, N. (2020). COGNITWIN – Cognitive Hybrid Digital Twins for Process Industry. In 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) (pp. 1-8). Cardiff, United Kingdom. doi: 10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198403

Allen, Danette. (2021). Digital Twin Paradigm for Future NASA and USAF Vehicles. [Link: https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699]

Froese, M. (2017, September 5). WindTwin digital technology aims to support and lower wind-turbine O&M costs. Windpower Engineering & Development. Retrieved from https://www.windpowerengineering.com/windtwin-digital-technology-aims-support-lower-wind-turbine-om-costs/

Galvao, M. C. B., Pluye, P., & Ricarte, I. L. M. (2017). Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. InCID: Revista De Ciência Da Informação E Documentação, 8(2), 4-24. https://doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v8i2p4-24

Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White paper, 1(2014), 1-7.

Iannizzotto, A. N., Luzi, G., Massemini, M., & Manzoni, S. (2021). Data-Driven Digital Twins: A survey. Simulation Modelling Practice and Theory, 109, 102226.

Jeong, D.-Y., et al. (2022). Digital Twin: Technology Evolution Stages and Implementation Layers With Technology Elements. IEEE Access, 52609-52620. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3174220

Jonas Friederich, Deena P. Francis, Sanja Lazarova-Molnar, Nader Mohamed. (2022). A framework for data-driven digital twins of smart manufacturing systems. Computers in Industry, Volume 136, 2022, 103586. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103586

Klarian. (n.d.). Intelligent Turbines. Retrieved from https://klarian.com/platform/intelligent-turbines. Accessed November 1, 2023.

Mohsen Soori, Behrooz Arezoo, Roza Dastres. (2023). Digital twin for smart manufacturing, A review. Sustainable Manufacturing and Service Economics, Volume 2, 2023, 100017. https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100017

Pascal Langlotz, Matthias Klar, Li Yi, Marco Hussong, Fábio J.P. Sousa, Jan C. Aurich. (2022). Concept of hybrid modeled digital twins and its application for energy management of manufacturing systems. Procedia CIRP, Volume 112, 2022, Pages 549-554. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.098

Review Energy. (2021, March 18). WindTwin project: Digital twins to improve energy efficiency in wind farms. Review Energy. Retrieved from https://www.review-energy.com/eolico/windtwin-project-digital-twins-to-improve-energy-efficiency-in-wind-farms

Segovia, M., & Garcia-Alfaro, J. (2022). Design, Modeling and Implementation of Digital Twins. Sensors (Basel, Switzerland), 22(14), 5396. https://doi.org/10.3390/s22145396

Singh M, Fuenmayor E, Hinchy EP, Qiao Y, Murray N, Devine D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. Applied System Innovation, 4(2), 36. https://doi.org/10.3390/asi4020036

Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15. doi: 10.1109/TII.2018.2873186

TWI. (2017, September 9). The WindTwin Project Aims to Revolutionise Wind Turbine Operation with Digital Twin Technology. Retrieved from https://www.twi-global.com/media-and-events/press-releases/2017-09-windtwin-project-aims-to-revolutionise-wind-turbine-operation-with-digital-twin-technology. Accessed November 1, 2023.

TWI. (2020). TWI Developing WindTwin Maintenance Solution. Retrieved from https://www.twi-global.com/media-and-events/press-releases/2020/twi-developing-wind-twin-maintenance-solution. Accessed November 1, 2023.

Xin Liu, Du Jiang, Bo Tao, Feng Xiang, Guozhang Jiang, Ying Sun, Jianyi Kong, Gongfa Li. (2023). A systematic review of digital twin about physical entities, virtual models, twin data, and applications. Advanced Engineering Informatics, Volume 55, 2023, 101876. https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101876

Yao, J. F., Yang, Y., Wang, X. C., & Zhang, X. P. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. Visual computing for industry, biomedicine, and art, 6(1), 10. https://doi.org/10.1186/s42492-023-00137-4

WavEC. (2024). Project WindTwin pioneers a new era of offshore wind energy optimisation. WavEC. Retrieved from https://mailchi.mp/wavec.org/project-windtwin-pioneers-a-new-era-of-offshore-wind-energy-optimisation

ID39
Análise Quantitativa do Efeito Causal do Alojamento Local no Preço das Habitações em Lisboa

A. Lourenço ([1]), R. J. G. Mateus ([2])
andre_all99@hotmail.com, p5768@ulusofona.pt

([1]) Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Lusófona, Portugal;
([2]) RCM2+ Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas, Universidade Lusófona, Portugal

Resumo

Os preços do mercado imobiliário residencial em Lisboa têm crescido exponencialmente, gerando preocupações sobre a sua acessibilidade aos residentes locais. Este aumento é impulsionado por diversos fatores, incluindo a recuperação económica, o investimento direto estrangeiro e a atratividade turística da Cidade. Adicionalmente, muitos proprietários têm convertido imóveis residenciais em alojamentos locais de curta duração devido às suas maiores rendibilidades. Contudo, poucos estudos quantificam o efeito causal desse crescimento nos preços das habitações. A análise descritiva mostra que as freguesias com maior crescimento de alojamentos locais não correspondem exatamente àquelas onde se tem verificado maior aumento nos preços das habitações, sugerindo a influência de outras variáveis nessa relação. Este estudo utiliza dados observacionais de séries temporais sobre as variáveis em estudo incluindo potenciais variáveis de confusão entre elas, ao nível do concelho de Lisboa e suas freguesias, entre 2007 e 2023. Utilizando métodos econométricos de regressão linear de primeiras diferenças e de efeitos fixos, com controlo das potenciais variáveis de confusão, estimaram-se os efeitos causais do aumento da oferta de alojamentos locais nos preços médios por metro quadrado das habitações ao nível do concelho e da freguesia. Adicionalmente, foi identificada uma relação causal inversa significativa em que o aumento dos preços das habitações também estimula a abertura de novos alojamentos locais, sugerindo um efeito de antecipação por parte dos proprietários.
Este estudo contribui para a literatura quantificando os efeitos causais dos alojamentos locais no mercado habitacional de Lisboa, apoiando a formulação de políticas públicas informadas para melhorar a acessibilidade habitacional.

Palavras-Chave: Alojamento local, Preço das habitações, Efeito causal, Variáveis de confusão, Efeitos Fixos, Lisboa

1. Introdução

Nos últimos 10 anos, o número de Alojamentos Locais (ALs) e o preço médio por metro quadrado (m^2) das habitações em Lisboa tem crescido de forma consistente, correspondendo a um aumento de cerca de mil ALs e três mil euros por m^2 por freguesia (linhas a tracejado nas Figuras 1 e 2).

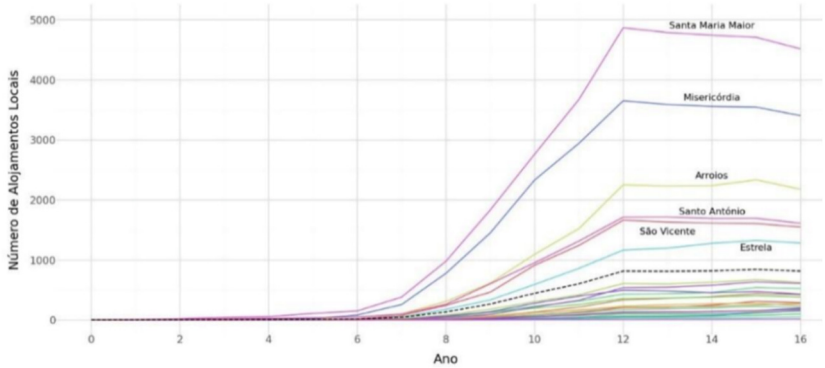


Figura 1 – Evolução do número de alojamentos locais por freguesia em Lisboa entre 2007 (ano 0) e 2023 (ano 16). Legenda: média do número de alojamentos locais por freguesia a tracejado.

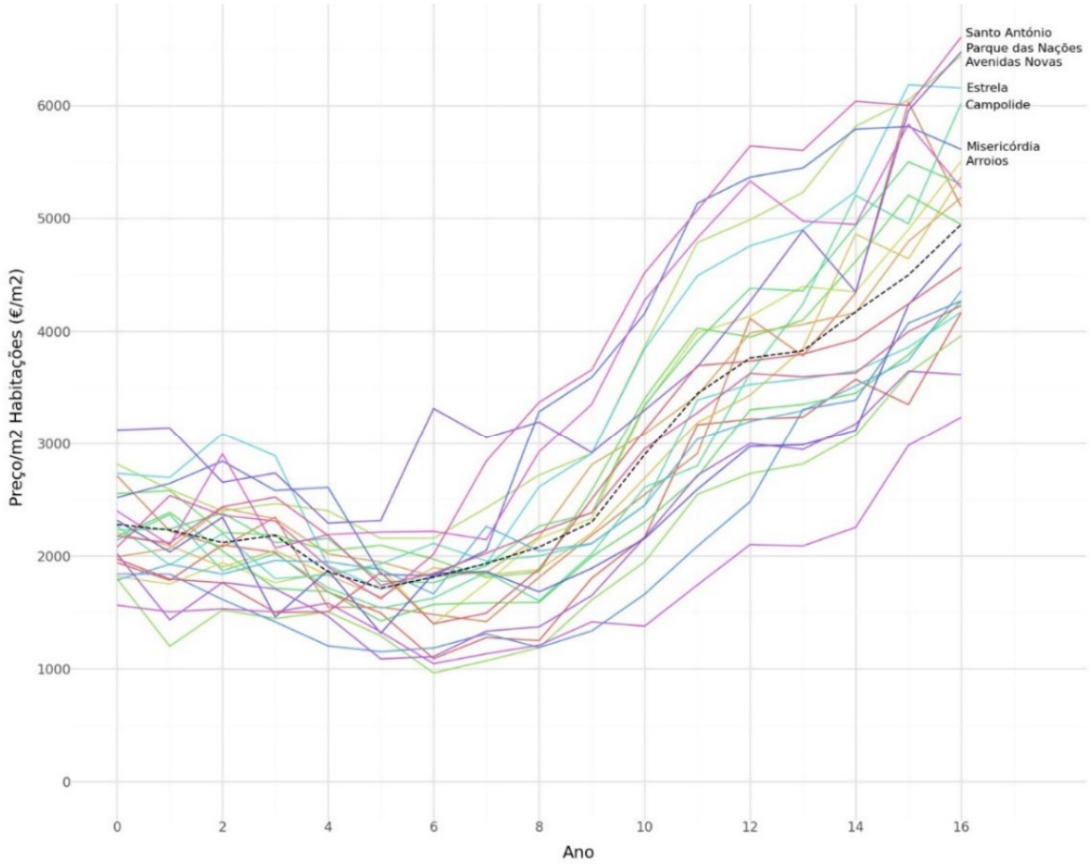


Figura 2 – Evolução do preço por m² das habitações por freguesia em Lisboa entre 2007 (ano 0) e 2023 (ano 16). Legenda: preço por m² das habitações no concelho de Lisboa a tracejado.

Uma análise simplista aos dados das Figuras 1 e 2 pode levar à conclusão de que o aumento na oferta de cada AL em Lisboa é responsável por um crescimento médio de cerca de 3 €/m² (3000/1000) no preço de habitação em cada freguesia. Todavia, uma análise mais detalhada às freguesias onde se verificou um maior crescimento na oferta de AL (Santa Maria Maior, Misericórdia, Arroios, Santo António, São Vicente e Estrela, por esta ordem) mostra que estas freguesias não correspondem àquelas onde se verificou no mesmo período um maior crescimento na oferta de ALs (Santo António, Parque das Nações, Avenidas Novas, Estrela, Campolide, Misericórdia e Arroios). Por outro lado, a Figura 1 verifica-se também que, apesar da oferta de ALs ter estabilizado desde 2019 (Figura 1), o crescimento do preço das habitações manteve a sua tendência crescente (Figura 2). Estas discrepâncias indiciam que existem outros fatores que têm influenciado o crescimento constante no preço das habitações nos últimos dez anos em Lisboa (Gonçalves et al., 2022), nomeadamente a recuperação económica verificada desde 2015 ou o crescimento sustentado do investimento direto estrangeiro no stock imobiliário e da atratividade turística da Cidade.

O estudo do efeito causal que a variação na oferta de AL tem provocado no preço médio das habitações em Lisboa é de extrema importância devido às externalidades sociais e económicas que o turismo e a acessibilidade residencial provocam na economia e na vida dos seus cidadãos (Nieuwland e van Melik, 2020).

Este estudo pretende contribuir para a literatura neste tópico através da aplicação de métodos econométricos de inferência causal na estimativa do efeito causal que a oferta de ALs na cidade de Lisboa tem provocado no crescimento dos preços das habitações ao nível do concelho e da freguesia.

Este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. A secção 2 faz uma breve revisão da literatura, identificando os pros e contras comummente associados ao AL, os principais tipos de análises utilizados para o seu estudo e a literatura publicada sobre o tópico deste artigo, em especial sobre Lisboa. A secção 3 apresenta a metodologia aplicada, incluindo os modelos causais analisados, as variáveis identificadas, os dados utilizados, os estimadores aplicados e os resultados obtidos. A secção 4 conclui discutindo os contributos deste estudo para a literatura e a prática, incluindo potenciais desenvolvimentos em termos de investigação futura.

2. Revisão bibliográfica

Diversos estudos têm mostrado que existem vantagens e desvantagens associadas ao aumento da oferta de AL nas cidades (Bao and Shah, 2020; Franco e Santos, 2021). Por um lado, induz a sua requalificação urbana e atividade económica e a disponibilidade financeira dos seus proprietários (Kaplan e Nadler, 2015). Por outro lado, a conversão de imóveis residenciais em alojamentos de curta duração provoca uma maior dificuldade no acesso à habitação, por via da diminuição da oferta de imóveis disponíveis para aquisição e arrendamento de longa duração, e a consequente gentrificação das cidades (Nieuwland e van Melik, 2020), poluição sonora, sensação de insegurança ou tráfego adicional (Franco e Santos, 2021).

A maior parte dos estudos referidos têm por base análises qualitativas (Kaplan e Nadler, 2015; Nieuwland e van Melik, 2020), análises estatísticas baseadas na simples interpretação de associações entre as variáveis, como a descrita no início deste artigo, ou análises econométricas baseadas em métodos de variáveis instrumentais ou diferenças-em-diferenças (Barron et al., 2020; Franco e Santos, 2021) realizadas em outras cidades (Horn e Merante, 2017; Garcia-López et al., 2020; Duso et al., 2024), que nem sempre controlam os efeitos da existência de potenciais variáveis de confusão (Bao e Shah, 2020).

Existem, contudo, ainda poucos estudos sobre a relação causal entre a oferta de AL e o mercado habitacional (Horn e Merante, 2017; Barron et al., 2020), especialmente em Lisboa (Franco e Santos, 2021; Gonçalves et al., 2022; Nobre et al., 2023).
Este artigo contribui para a literatura neste tópico emergente ao analisar o efeito causal provocado pelo crescimento da oferta de AL no preço das habitações da cidade de Lisboa ao nível do concelho e da freguesia.

3. Metodologia, materiais, métodos e resultados

A metodologia aplicada para analisar a relação causal entre a oferta de AL e o preço das habitações na cidade de Lisboa consistiu nos seguintes passos:

a) Definição da questão causal que se pretende inferir;
b) Definição dos modelos causais em estudo;
c) Identificação das variáveis independentes e dependente dos modelos causais a estudar, diferenciando a variável causal de outras potenciais variáveis independentes (confusão, desfasadas, antecipadas,etc.);
d) Obtenção dos dados, seu tratamento, transformação e estruturação;
e) Estimação dos efeitos causais, através de métodos estatísticos baseados em regressões lineares múltiplas;
f) Interpretação dos efeitos causais obtidos.

3.1. Modelos causais em estudo

O estudo da relação causal entre a oferta de alojamentos locais e o preço médio das habitações por m^2 pode ter como objetivo estimar o seu efeito ao nível do concelho ou da freguesia em que o AL se encontra. No primeiro caso, pretende-se quantificar o efeito causal que a oferta de um novo AL em qualquer localização da Cidade tem no preço médio das habitações de toda a Cidade, no segundo caso, o efeito que tem no preço das habitações da freguesia onde o AL se encontra. Naturalmente, o potencial efeito esperado no segundo caso será maior que no primeiro. Por outro lado, pode ser útil conhecer o efeito da oferta de alojamento locais quantificado de forma absoluta ou de forma relativa através do rácio entre o número de AL e o número de habitações existentes ao nível da freguesia ou do concelho (de 0% e 100%). Por fim, pode também ser útil conhecer o efeito sobre o preço das habitações de forma absoluta (em €/m^2) ou de forma relativa através da sua variação (em %).
Pelas razões apontadas, estimaram-se seis efeitos causais, resultantes da especificação de três modelos causais, conforme especificado na Tabela 1, analisados ao nível do concelho e da freguesia na cidade de Lisboa.

Tabela 1 – Modelos causais estudados ao nível do concelho e da freguesia da cidade de Lisboa

MODELO	VARIÁVEL INDEPENDENTE CAUSAL	VARIÁVEL DEPENDENTE
Modelo 1	N.º de alojamentos locais	Preço das habitações (€/m^2)
Modelo 2	N.º de alojamentos locais / N.º de habitações (%)	Preço das habitações (€/m^2)
Modelo 3	N.º de alojamentos locais / N.º de habitações (%)	Variação do preço das habitações (%)

A seleção das variáveis da Tabela 1 e dos modelos causais subjacentes resultou da sua potencial utilidade na definição de políticas públicas de regulação do mercado habitacional na cidade de Lisboa, permitindo que sejam estabelecidos limites ao licenciamento de ALs por jurisdição geográfica administrativa (e.g., freguesia) através de valores absolutos (modelo 1) ou do rácio de AL em relação ao total de habitações (modelos 2 e 3).

3.2. Identificação

Os métodos de inferência estatística, no qual se baseia a maioria da inteligência artificial atual, são utilizados para realizar previsões assumindo que o futuro será igual ao passado. Para o efeito, tiram vantagem das associações existentes entre os dados observados em variáveis independentes (preditivas) e a variável dependente (de resposta) que se pretende prever. Todavia, a identificação das variáveis independentes num modelo de previsão construído com base em métodos estatísticos de maximização da correlação entre as variáveis independentes e dependente não garante que exista uma relação causal entre elas.

A existência de uma relação de causa-efeito entre as variáveis X e Y implica que uma alteração na causa X tem como efeito uma alteração na distribuição da variável Y. Para tirar conclusões sobre a existência de uma relação causal entre duas variáveis X e Y é necessário que se possa intervir na causa X. O método que é a norma de ouro para identificar a causalidade entre duas variáveis consiste na realização de experiências aleatórias controladas. Contudo, nem sempre é possível técnica, económica ou eticamente realizar essas experiências em contextos reais. Nesses casos, um método alternativo de inferência causal, consiste em representar o modelo causal de geração dos dados observados, qualitativamente através de um grafo acíclico direcional ou quantitativamente através de um modelo causal estrutural, e posteriormente controlar as variáveis de confusão que influenciam tanto a variável causal X como a variável dependente Y, de forma a eliminar os efeitos e associações espúrias que essas variáveis de confusão podem criar na relação causal entre X e Y que se pretende estudar (Pearl et al., 2016; Hernán e Robins, 2020). Este modelo causal inicial não pode ser definido com base em métodos estatísticos, sendo necessária a sua proposição através de conhecimento empírico da realidade, obtido por peritos e/ou na literatura. Neste contexto, foram identificadas cinco potenciais variáveis de confusão entre a oferta de AL e o preço das habitações na cidade de Lisboa, pelas razões que a seguir se justificam:

a) Número de habitações na cidade de Lisboa: o número de habitações influencia, por um lado, a maior ou menor disponibilidade de propriedades para serem convertidas em AL e, por outro lado, o preço das habitações por via da maior ou menor oferta de habitações no mercado;
b) Número de dormidas em alojamentos turísticos na cidade de Lisboa: o número de dormidas turísticas influencia, por um lado, a oferta de AL induzida por uma maior procura por este tipo de alojamentos e, por outro lado, o preço das habitações por via da gentrificação da Cidade;
c) Produto Interno Bruto (PIB) da Área Metropolitana de Lisboa (AML): O PIB representa a atividade económica na AML e consequentemente influencia, por um lado, a capacidade e apetência dos investidores da região para aumentar ou diminuir a oferta de AL e, por outro lado, o preço das habitações por via da variação da procura e do poder de compra dos seus habitantes;
d) Investimento Direto Estrangeiro (IDE) no mercado imobiliário na Grande Lisboa: A variação do IDE no mercado imobiliário influencia, por um lado, a capacidade dos investidores estrangeiros para aumentar ou diminuir a oferta de AL em Lisboa e, por outro lado, o preço das habitações por via da construção, compra e venda de habitações por parte desse tipo de investidores;
e) Taxa de juros a 6 meses da Euribor: a taxa de juro de referência para os empréstimos influencia, por um lado, a maior ou menor facilidade de financiamento para a conversão de habitações em AL e, por outro lado, o preço das habitações por via da maior ou menor capacidade de compra da procura.

As variáveis em estudo incluem a informação de cada entidade geográfica ao longo do tempo, pelo que os dados são estruturados em séries temporais ao nível do concelho e em painel ao nível das freguesias. A inferência causal entre variáveis estruturadas através destas duas formas apresenta vantagens adicionais em relação aos dados transversais, ao permitir explorar a existência de associações, não apenas entre as variáveis em cada período, mas também entre cada uma delas ao longo do tempo. Por outro lado, introduzem também dificuldades adicionais, em especial quando as variáveis em questão não são estacionárias devido à existência de tendências (causadas pela influência de uma variável causal comum de confusão), sazonalidades ou passeios aleatórios em cada uma delas, potenciando a existência de associações espúrias entre elas (Békés e Kézdi, 2021).

Ao nível do concelho, em que as variáveis são estruturadas como séries temporais, é normalmente possível estacionarizar as variáveis transformando-as nas suas primeiras diferenças, ou seja, na sua diferença para o período temporal anterior (ver secção 3.4.1). Ao nível da freguesia, em que as variáveis se encontram estruturadas em painel, os problemas induzidos pela não estacionariedade podem ser resolvidos de forma equivalente através da inclusão de efeitos fixos locais (freguesia) e temporais (ano) nos estimadores dos efeitos causais em estudo (ver secção 3.4.2) (Wooldridge, 2019).

3.3 Dados

Os dados das variáveis selecionadas anteriormente foram recolhidos numa base anual, permitindo desta forma ignorar a existência de potenciais sazonalidades ao nível de cada variável. Foi possível obter de forma completa (balanceada) os dados anuais de todas as variáveis no período compreendido entre 2007 e 2023. Este intervalo de tempo permitiu incluir dados anteriores e posteriores ao ano de 2015, no qual o fenómeno de crescimento da oferta de AL e do preço das habitações em Lisboa se tornou relevante (Figuras 1 e 2).

A Tabela 1 apresenta as séries temporais das variáveis analisadas ao nível do concelho de Lisboa, os quais foram obtidos, tratados e transformados como se descreve de seguida:

a) *Preço_m2*: preço médio das habitações (em €/m^2) em Lisboa, obtido do sítio da internet da Confidencial Imobiliário (www.confidencialimobiliario.com);
b) *N_AL*: n.º de alojamento locais em Lisboa, obtido do registo nacional de alojamento local disponível no sítio da internet do Turismo de Portugal (rnt.turismodeportugal.pt/RNT/Pesquisa_AL.aspx);
c) *N_H*: n.º de habitações em Lisboa, calculado com base na interpolação linear dos Censos entre 2001 e 2021 obtidos do sítio da internet do INE (censos.ine.pt);
d) *N_D*: n.º de dormidas em Lisboa, obtido a partir das estatísticas de ocupação em alojamentos e empreendimentos turísticos dos sítios da internet da Pordata (www.pordata.pt/pt/documentos-indicadores) e do Turismo de Portugal (rnt.turismodeportugal.pt/RNT/Pesquisa_ET.aspx);
e) *PIB_AML*: PIB da AML (em milhões de euros) a preços correntes, obtido do sítio da internet do INE (www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_cnacionais);
f) *IDE_CI_GL*: IDE em imobiliário na Grande Lisboa (em milhões de euros), calculado com base no sítio de internet do Banco de Portugal (bpstat.bportugal.pt/serie/12571296);
g) *perc_Juro*: taxa de juro (em %) da Euribor a 6 meses, obtido do sítio da internet (www.doutorfinancas.pt/media-mensal-da-taxa-euribor);
h) *perc_AL_H*: rácio do n.º de ALs pelo total de habitações, calculado através das variáveis *N_AL* e *N_H*;
i) *log_Preço_m2*: logaritmo do preço médio por m^2 das habitações, calculado através da transformação logarítmica da variável *Preço_m2*.

Tabela 1 – Séries temporais das variáveis analisadas ao nível do concelho de Lisboa entre 2007 e 2023

	Anos	Ano	Preço_m2	N_AL	N_H	N_D	PIB_AML	IDE_CI_GL	perc_Juro	perc_AL_H	log_Preço_m2
0	0	2007	2279	10	307534	6076	65807	1271	4.82	0.00	7.73
1	1	2008	2230	21	311646	5588	67581	1285	3.37	0.01	7.71
2	2	2009	2119	53	315757	5772	66436	1651	1.00	0.02	7.66
3	3	2010	2182	107	319869	6252	67732	1880	1.25	0.03	7.69
4	4	2011	1860	137	323981	6355	66343	2013	1.67	0.04	7.53
5	5	2012	1715	227	323597	6789	62528	2034	0.32	0.07	7.45
6	6	2013	1812	420	323213	7310	62955	2631	0.37	0.13	7.50
7	7	2014	1933	1077	322829	8918	63145	3434	0.18	0.33	7.57
8	8	2015	2079	3213	322445	10099	64897	4077	-0.04	1.00	7.64
9	9	2016	2300	6367	322062	11066	66942	4180	-0.22	1.98	7.74
10	10	2017	2899	10655	321678	12427	70359	4596	-0.27	3.31	7.97
11	11	2018	3447	14461	321294	13184	73602	4874	-0.24	4.50	8.15
12	12	2019	3763	19530	320910	14264	77439	6128	-0.34	6.09	8.23
13	13	2020	3827	19448	320526	3481	71642	6329	-0.52	6.07	8.25
14	14	2021	4172	19621	320143	5087	76602	7171	-0.55	6.13	8.34
15	15	2022	4498	20245	319759	13200	87368	7782	2.57	6.33	8.41
16	16	2023	4946	19535	319375	16042	96325	8073	3.92	6.12	8.51

As variáveis X_t da Tabela 1, pelas razões referidas anteriormente, foram depois transformados nas respetivas primeiras diferenças ($\Delta X_t = X_t - X_{t-1}$) entre anos t consecutivos, em que X_t e X_{t-1} representam, respetivamente, cada uma das variáveis *Preço_m2*, *N_AL*, *N_H*, *N_D*, *PIB_AML*, *IDE_CI_GL*, *perc_Juro*, *perc_AL_H* e *log_Preço_m2* definidas anteriormente entre dois anos consecutivos *t* e *t-1*.

Os dados das variáveis *Preço_m2*, *N_AL*, *N_H* e *N_D* foram também obtidos para cada uma das 24 freguesias de Lisboa, resultando na estrutura de dados em painel apresentada de forma ilustrativa na Tabela 2.

Tabela 2 – Painel de dados das variáveis analisadas ao nível das freguesias de Lisboa entre 2007 e 2023

	Anos	Ano	Freguesia	Preço_m2	N_AL	N_H	N_D	perc_AL_H	log_Preço_m2
0	0	2007	Ajuda	1941	0	8957	0	0.00	7.57
1	1	2008	Ajuda	1785	0	8937	0	0.00	7.49
2	2	2009	Ajuda	2099	0	8918	0	0.00	7.65
3	3	2010	Ajuda	2030	0	8898	0	0.00	7.62
4	4	2011	Ajuda	1681	0	8879	0	0.00	7.43
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
403	12	2019	São Vicente	3735	1662	10202	0	14.01	8.23
404	13	2020	São Vicente	3797	1631	10189	0	13.80	8.24
405	14	2021	São Vicente	3926	1614	10176	0	13.69	8.28
406	15	2022	São Vicente	4241	1607	10162	133	13.65	8.35
407	16	2023	São Vicente	4566	1547	10149	162	13.23	8.43

3.4 Estimadores dos efeitos causais

O método de estimação selecionado para inferir o efeito causal entre a oferta de alojamentos locais e o preço das habitações baseou-se em regressões lineares múltiplas. As variáveis de confusão foram controladas nestes modelos de regressão através da sua introdução no conjunto de variáveis independentes. Estas variáveis não têm interpretação causal, sendo apenas instrumentais para isolar o efeito causal entre as duas variáveis cujo efeito causal se pretende estimar.
A variação do preço das habitações, em percentagem, em relação ao seu valor base, foi obtida diretamente do coeficiente associado à transformação desta variável no seu logaritmo (ver modelo 3) (Békés e Kézdi, 2021).

3.4.1 Estimação dos efeitos causais ao nível do concelho

O efeito causal do modelo 1 ao nível do concelho foi estimado com base na análise às equações (1) a (4) de regressão linear múltipla entre as primeiras diferenças (Δ) das variáveis em análise (Békés e Kézdi, 2021).

$$\Delta Preço_m2_t = \alpha + \beta_1 \Delta N_AL_t \quad (1)$$

$$\Delta Preço_m2_t = \alpha + \beta_1 \Delta N_AL_t + \beta_2 \Delta N_AL_{t-1} \quad (2)$$

$$\Delta Preço_m2_t = \alpha + \beta_1 \Delta N_AL_t + \delta_1 \Delta N_H_t + \delta_2 \Delta N_D_t + \delta_3 \Delta PIB_AML_t + \delta_4 \Delta IDE_CI_GL_t + \delta_5 \Delta perc_Juro_t \quad (3)$$

$$\Delta Preço_m2_t = \alpha + \beta_1 \Delta N_AL_t + \beta_2 \Delta N_AL_{t-1} + \delta_1 \Delta N_H_t + \delta_2 \Delta N_D_t + \delta_3 \Delta PIB_AML_t + \delta_4 \Delta IDE_CI_GL_t + \delta_5 \Delta perc_Juro_t \quad (4)$$

Em que o parâmetro α representa a variação do preço por m^2 das habitações (i.e., a tendência média) quando todas as variáveis independentes são nulas, β_1 representa a estimativa do efeito causal médio entre cada unidade de AL adicional no ano *t* e a variação no preço por m^2 das habitações no ano *t*, β_2 representa a estimativa do efeito causal médio entre cada unidade de AL adicional no ano *t-1* e a variação no preço por m^2 das habitações no ano *t*, e δ_1 a δ_5 representam as estimativas dos efeitos médios induzidos por cada unidade adicional das variáveis de confusão relativas ao n.º de habitações em Lisboa, ao n.º de dormidas em Lisboa, ao PIB da AML, ao IDE em imobiliário na Grande Lisboa e à taxa de juro no ano *t*, respetivamente, na variação do preço por m^2 das habitações no ano *t*.

O efeito causal nos modelos 2 e 3 ao nível do concelho foi estimado com base nas equações (1) a (4) após a substituição da variável causal ΔN_AL_t por $\Delta perc_AL_H_t$. No modelo 3, para além desta substituição, a variável dependente $\Delta Preço_m2_t$ foi substituída por $\Delta log_Preço_m2_t$. De forma a analisar a presença de potenciais desfasamentos do efeito causal ao longo do tempo, as equações 2 e 4 incluem adicionalmente a variável causal desfasada um ano. As equações (3) e (4) incluem as variáveis de confusão identificadas na secção 3.2. Os erros-padrão dos parâmetros destas regressões foram estimados através do estimador de Newey e West (1987), robusto

à presença de potenciais autocorrelações e heterocedasticidade nas variáveis, selecionando a opção "HAC" da função *OLS* da biblioteca *statsmodels* da linguagem de programação Python (ver secção 3.5) e um *lag*=2 determinado pela expressão $lag = T^{(1/4)}$ (Greene, 2018).

3.4.2 Estimação dos efeitos causais ao nível da freguesia

O efeito causal do modelo 1 ao nível da freguesia foi estimado com base na análise às equações (5) a (11) de regressão linear múltipla com dois efeitos fixos α_i e θ_t, em que *i* representa cada freguesia e *t* cada ano (Békés e Kézdi, 2021).

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} \quad (5)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} \quad (6)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} + \beta_2 N_AL_{i,t-1} \quad (7)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} + \beta_2 N_AL_{i,t-1} + \beta_3 N_AL_{i,t-2} \quad (8)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} + \beta_2 N_AL_{i,t-1} + \rho_1 N_AL_{i,t+1} \quad (9)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} + \beta_2 N_AL_{i,t-1} + \sum_{\tau=1}^{2} \rho_\tau N_AL_{i,t+\tau} \quad (10)$$

$$Preço_m2_{i,t} = \alpha_i + \theta_t + \beta_1 N_AL_{i,t} + \delta_1 N_H_{i,t} + \delta_2 N_D_{i,t} + \beta_2 N_AL_{i,t-1} + \sum_{\tau=1}^{3} \rho_\tau N_AL_{i,t+\tau} \quad (11)$$

Em que o parâmetro α_i representa o efeito fixo da freguesia *i* no preço por m^2 das habitações, θ_t representa o efeito fixo do ano *t* no preço por m^2 das habitações, β_1 representa a estimativa do efeito causal médio entre cada unidade de AL adicional no ano *t* e o preço por m^2 das habitações no ano *t*, β_2 e β_3 representam as estimativas dos efeitos causais médios entre cada unidade de AL adicional nos anos *t-1* e *t*-2, respetivamente, e o preço por m^2 das habitações no ano *t*, ρ_1 a ρ_3 representam as estimativas dos efeitos causais médios por antecipação entre cada unidade de AL adicional nos anos *t+1*, *t+2* e *t+3*, respetivamente, e o preço por m^2 das habitações no ano *t*, e δ_1 e δ_2 representam as estimativas dos efeitos médios induzidos por cada unidade adicional das variáveis de confusão relativas ao n.º de habitações em Lisboa e ao n.º de dormidas em Lisboa no ano *t*, respetivamente, no preço por m^2 das habitações no ano *t*.

À semelhança da determinação dos efeitos causais ao nível do concelho, o efeito causal nos modelos 2 e 3 ao nível da freguesia foi estimado por substituição da variável causal $N_AL_{i,t}$ por $perc_AL_H_{i,t}$. No modelo 3, a variável dependente $Preço_m2_{i,t}$ foi substituída também por $log_Preço_m2_{i,t}$. As equações (6) a (11) incluem as variáveis de confusão definidas ao nível da freguesia. De forma a analisar a presença de potenciais desfasamentos do efeito causal ao longo do tempo, as equações 7 a 11 incluem adicionalmente a variável causal desfasada um ano e dois anos (equação 8). Adicionalmente, de forma a analisar a existência de uma potencial causalidade inversa entre as variáveis causal e dependente da Tabela 1, as equações (9) a (11) incluem ainda a variável causal antecipada no tempo em um, dois e três anos (equações 9 a 11). Os erros-padrão dos parâmetros destas regressões foram agrupados ao nível de cada freguesia e ano, de forma a corrigi-los da presença de potenciais autocorrelações, selecionando a opção existente para o efeito na função PanelOLS (ver secção 3.5).

3.5 Resultados

A aplicação dos estimadores estatísticos estabelecidos nas equações 1 a 4 às séries temporais da secção 3.3, para cada um dos modelos causais 1 a 3 da secção 3.1 ao nível do concelho, foi operacionalizada com o auxílio da função *OLS* da biblioteca *statsmodels* da linguagem de programação Python. Os resultados obtidos da aplicação dessas equações segundo cada modelo são apresentados, respetivamente, nas Tabelas 3 a 5. Os valores apresentados entre parênteses correspondem aos erros-padrão dos parâmetros. Parâmetros com valor-de-p inferior a 10%, 5% e 1% são assinalados respetivamente com um, dois ou três asteriscos.

Tabela 3 – Resultados das equações (1) a (4) segundo o modelo causal 1 ao nível do concelho (variável dependente: $\Delta Preço_m2_t$)

VARIÁVEL	(1)	(2)	(3)	(4)
ΔN_AL_t	0,08 (0,03) **	0,06 (0,04)	0,05 (0,02) **	0,03 (0,05)
ΔN_AL_{t-1}		0,02 (0,04)		0,03 (0,07)
ΔN_H_t			-0,05 (0,02) **	-0,04 (0,02) *
ΔN_D_t			-0,03 (0,01)	-0,03 (0,04)
ΔPIB_AML_t			0,06 (0,02) ***	0,07 (0,02) **
$\Delta IDE_CI_GL_t$			-0,08 (0,11)	-0,09 (0,13)
$\Delta perc_Juro_t$			-37,32 (39,98)	-65,90 (49,02)
R^2	32,6%	32,4%	86,5%	88,1%
R^2 ajustado	27,7%	27,7%	77,5%	76,2%

Tabela 4 – Resultados das equações (1) a (4) segundo o modelo causal 2 ao nível do concelho (variável dependente: $\Delta Preço_m2_t$)

VARIÁVEL	(1)	(2)	(3)	(4)
$\Delta perc_AL_H_t$	276,92 (105,20) **	209,12 (143,38)	161,13 (68,56) **	79,75 (172,94)
$\Delta\ perc_AL_H_{t-1}$		89,47 (151,89)		105,91 (224,62)
ΔN_H_t			-0,05 (0,02) **	-0,04 (0,02)
ΔN_D_t			-0,03 (0,01) **	-0,02 (0,03)
ΔPIB_AML_t			0,06 (0,02) ***	0,07 (0,02) **
$\Delta IDE_CI_GL_t$			-0,07 (0,11)	-0,08 (0,13)
$\Delta perc_Juro_t$			-36,85 (39,90)	-66,21 (48,37)
R^2	33,1%	33,1%	86,6%	88,3%
R^2 ajustado	28,3%	21,9%	77,6%	76,6%

Tabela 5 – Resultados das equações (1) a (4) segundo o modelo causal 3 ao nível do concelho (variável dependente: $\Delta log_Preço_m2_t$)

VARIÁVEL	(1)	(2)	(3)	(4)
$\Delta perc_AL_H_t$	0,115 (0,036) ***	0,097 (0,052) *	0,075 (0,033) **	0,101 (0,090)
$\Delta\ perc_AL_H_{t-1}$		0,024 (0,053)		-0,039 (0,116)
ΔN_H_t			-0,000 (0,000) *	-0,000 (0,000)
ΔN_D_t			-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)
ΔPIB_AML_t			0,000 (0,000) **	0,000 (0,000) *
$\Delta IDE_CI_GL_t$			-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)
$\Delta perc_Juro_t$			-0,015 (0,019)	-0,017 (0,025)
R^2	41,4%	40,8%	77,3%	77,3%
R^2 ajustado	37,2%	30,9%	62,1%	54,7%

A análise aos resultados da Tabela 3 indica que cada AL tem como efeito causal um aumento médio de cerca de 0,05 €/m^2 no preço das habitações ao nível do concelho de Lisboa, após a correção dos efeitos das variáveis de confusão (equação 3). Por sua vez, as Tabelas 4 e 5 indicam que o crescimento de uma unidade percentual no rácio de AL pelo total de habitações, ao nível do concelho de Lisboa, tem como efeito causal um aumento médio de aproximadamente 160 €/m^2 (em termos absolutos) ou de 7,5% (em termos relativos) no preço das habitações. Em qualquer dos modelos, os efeitos causais estimados pela equação (3) são estatisticamente significativos a 90%. Adicionalmente, as equações (2) e (4) indicam que estes efeitos causais ao nível do concelho ocorrem somente no próprio ano ou, pelo menos, os dados em análise não permitem concluir que os efeitos causais no preço das habitações ao nível do concelho provocados pelo crescimento da oferta de ALs sejam desfasados para o ano seguinte.

A aplicação dos estimadores estatísticos estabelecidos nas equações (5) a (11) aos dados em painel da secção 3.3, para cada um dos modelos causais 1 a 3 da secção 3.1 ao nível da freguesia, foi operacionalizada com o auxílio da função *PanelOLS* da biblioteca *linearmodels* do Python. Os resultados obtidos dessa aplicação segundo os modelos causais 1 a 3 ao nível da freguesia são apresentados, respetivamente, nas Tabelas 6 a 8.

Tabela 6 – Resultados das equações (5) a (11) segundo o modelo causal 1 ao nível da freguesia (variável dependente: Preço_m2$_{i,t}$)

VARIÁVEL	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
$N_AL_{i,t}$	0,35 ***	0,35 ***	0,52 ***	0,50 ***	0,21 *	0,22 *	0,23 **
	(0,09)	(0,08)	(0,09)	(0,09)	(0,12)	(0,12)	(0,12)
$N_AL_{i,t-1}$			-0,18 **	-0,07	-0,11	-0,09	-0,09
			(0,09)	(0,05)	(0,08)	(0,08)	(0,08)
$N_AL_{i,t-2}$				-0,11 **			
				(0,05)			
$N_AL_{i,t+1}$					0,27 ***	0,18 ***	0,18 ***
					(0,04)	(0,05)	(0,05)
$N_AL_{i,t+2}$						0,09 *	0,06
						(0,05)	(0,09)
$N_AL_{i,t+3}$							0,04
							(0,06)
$N_H_{i,t}$		0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
		(0,06)	(0,06)	(0,06)	(0,06)	(0,06)	(0,06)
$N_D_{i,t}$		0,28 ***	0,25 ***	0,24 ***	0,29 ***	0,29 ***	0,29 ***
		(0,10)	(0,08)	(0,08)	(0,08)	(0,08)	(0,09)
R^2	91,2%	91,7%	91,9%	91,9%	92,2%	92,3%	92,3%

Tabela 7 – Resultados das equações (5) a (11) segundo o modelo causal 2 ao nível da freguesia (variável dependente: Preço_m2$_{i,t}$)

VARIÁVEL	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
$perc_AL_H_{i,t}$	44,25 ***	44,96 ***	62,69 ***	61,70 ***	26,05 *	27,24 *	28,17 *
	(12,77)	(10,94)	(12,07)	(12,10)	(14,95)	(15,72)	(15,06)
$perc_AL_H_{i,t-1}$			-18,65 *	-8,14	-11,94	-10,09	-9,37
			(10,40)	(6,64)	(9,39)	(9,29)	(9,36)
$perc_AL_H_{i,t-2}$				-10,59			
				(6,57)			
$perc_AL_H_{i,t+1}$					35,07 ***	23,81 ***	23,72 ***
					(4,53)	(4,63)	(4,61)
$perc_AL_H_{i,t+2}$						11,35 *	7,60
						(5,81)	(11,44)
$perc_AL_H_{i,t+3}$							4,06
							(7,45)
$N_H_{i,t}$		0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07
		(0,07)	(0,07)	(0,07)	(0,06)	(0,06)	(0,06)
$N_D_{i,t}$		0,27 ***	0,24 ***	0,23 ***	0,29 ***	0,29 ***	0,28 ***
		(0,08)	(0,07)	(0,06)	(0,07)	(0,07)	(0,07)
R^2	91,3%	91,7%	91,9%	91,9%	92,3%	92,4%	92,4%

Tabela 8 – Resultados das equações (5) a (11) segundo o modelo causal 3 ao nível da freguesia (variável dependente: log_Preço_m2$_{i,t}$)

VARIÁVEL	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
$perc_AL_H_{i,t}$	0,006 **	0,005 **	0,013 ***	0,013 ***	0,000	0,001	0,002
	(0,003)	(0,003)	(0,004)	(0,004)	(0,004)	(0,004)	(0,004)
$perc_AL_H_{i,t-1}$			-0,008 **	-0,005 *	-0,006 *	-0,005	-0,005
			(0,004)	(0,003)	(0,004)	(0,003)	(0,004)
$perc_AL_H_{i,t-2}$				-0,004			
				(0,002)			
$perc_AL_H_{i,t+1}$					0,013 ***	0,005 ***	0,005 ***
					(0,003)	(0,001)	(0,001)
$perc_AL_H_{i,t+2}$						0,008 ***	0,003
						(0,003)	(0,003)
$perc_AL_H_{i,t+3}$							0,004 **
							(0,002)
$N_H_{i,t}$		0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000
		(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
$N_D_{i,t}$		0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***
		(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
R^2	91,0%	91,2%	91,4%	91,5%	91,9%	92,1%	92,1%

A análise aos resultados da Tabela 6 indica que cada AL tem como efeito causal cumulativo um aumento médio de cerca de 0,35 €/m^2 no preço das habitações na freguesia desse AL. Por sua vez, as Tabelas 4 e 5 indicam que o crescimento de uma unidade percentual no rácio de AL pelo total de habitações de uma freguesia tem como efeito causal cumulativo um aumento médio de aproximadamente 45 €/m^2 (em termos absolutos) ou de 0,5% (em termos relativos) no preço das habitações dessa freguesia. É de notar que, em qualquer dos modelos, a correção dos efeitos das variáveis de confusão (equação 6) não introduz alterações relevantes nesses efeitos causais, o que indicia que os efeitos fixos locais α_i e temporais θ_t (equação 5) absorvem esses efeitos potenciais. As equações (7) a (8) indicam q(ue esses efeitos causais sejam desfasados ao longo do tempo, concentrando-se sobretudo no próprio ano e no ano seguinte. Todos os efeitos causais referidos são estatisticamente significativos a 99%. Adicionalmente, as equações (9) a (11) assinalam a existência de uma potencial relação de causalidade inversa, estatisticamente significativa, entre a variável causal e a dependente, indicando que o crescimento do preço das habitações numa determinada freguesia esteja a induzir reciprocamente que a oferta de AL aumente nessa freguesia.

4. Discussão e Conclusões

Este artigo é uma contribuição para a literatura ao estimar o efeito causal da oferta de AL na cidade de Lisboa no preço médio por m^2 das habitações ao nível da freguesia e do concelho. Foram identificadas e controladas as potenciais variáveis de confusão entre essa relação causal e estimado o seu efeito causal de acordo com três modelos distintos considerando a representação da variável causal e dependente em valores absolutos e relativos. Utilizando métodos de regressão linear múltipla de primeiras diferenças, ao nível da freguesia, e de dois efeitos fixos, ao nível do concelho, com controlo das variáveis de confusão, mostrou-se a existência de um efeito causal positivo estatisticamente significativo entre essa relação causal.

Especificamente, foi estimado que a oferta de cada AL em Lisboa causa um aumento médio de 0,35 €/m^2 no preço das habitações da freguesia desse AL e um aumento médio de 0,05 €/m^2 nas restantes freguesias (i.e., ao nível do concelho). Note-se que, ao nível da freguesia, o aumento médio referido corresponde a pouco mais do que 10% do crescimento de 3 €/m^2 determinado pela análise descritiva simplista da secção 1.
Noutra perspetiva, o crescimento de 1% no rácio de AL pelo total de habitações ao nível da freguesia causa um aumento médio de 0,5% (ou 45 €/m^2) no preço das habitações dessa freguesia. Comparativamente, Franco e Santos (2021) tinham encontrado um aumento médio de 3,2% ao nível da freguesia em Lisboa e Barron et al. (2020) um aumento médio de 0,026% ao nível do código postal nos Estados Unidos da América.
Os resultados obtidos ao nível da freguesia, indicam também a provável presença de um fenómeno de causalidade inversa entre as variáveis em estudo ao nível da freguesia em Lisboa que pode criar um círculo vicioso difícil de quebrar, em que o aumento da oferta de AL faz crescer o preço das habitações e, por sua vez, este crescimento induz o mercado a aumentar a oferta de AL.

Estes resultados podem apoiar a formulação de políticas públicas mais informadas. Entre as potenciais políticas públicas de regulação da oferta de AL e/ou das suas externalidades, negativas ou positivas, incluem-se a proibição ou limitação na emissão de licenças, em valor absoluto (e.g., número máximo de ALs) ou relativo (e.g., percentagem máxima de ALs) por área geográfica, a definição de impostos ou taxas sobre as atividades que beneficiam dessa oferta (e.g., taxas turísticas) ou o financiamento de medidas de mitigação ou compensação às atividades e/ou utilizadores que mais são prejudicados pelos efeitos negativos do AL (Nieuwland e van Melik, 2020; von Briel e Dolnicar, 2021). A quantificação do efeito causal induzido pelo crescimento da oferta de AL no preço das habitações na cidade de Lisboa é uma informação que pode auxiliar as entidades públicas na tomada deste tipo de decisões.

Porém, a definição de políticas públicas sobre a oferta de AL tendo por base unicamente o seu efeito no preço das habitações é demasiado simplista. Como em qualquer tipo de decisão, outros critérios de avaliação devem ser levados em consideração, incluindo, por um lado, os impactos do AL na atividade económica ou na requalificação do espaço urbano e, por outro lado, a descaracterização e gentrificação dos valores socioculturais das cidades. As metodologias sócio-técnicas de análise multicritério são uma ferramenta valiosa para este fim, permitindo incorporar múltiplos critérios de benefícios, custos e riscos, a incerteza associada à medição dos efeitos segundo esses critérios e as preferências dos responsáveis políticos pela gestão urbana e das restantes partes interessadas pelo território (Mateus et al., 2017; Mateus e Padilha, 2017).
Recomenda-se para futuras investigações sobre o tópico deste artigo, a identificação e controlo de outras potenciais variáveis de confusão que possam enviesar o(s) efeito(s) causal(is) estimados neste artigo. Outras linhas de investigação promissoras incluem a comparação dos resultados deste estudo com outras cidades nacionais ou internacionais, bem como a identificação e estimação de outros efeitos causais, positivos e negativos, induzidos pelo AL na cidade de Lisboa.

Referências

Bao, H.X.H., Shah, S. (2020). The Impact of Home Sharing on Residential Real Estate Markets. Journal of Risk and Financial Management, 13(8), 161; https://doi.org/10.3390/jrfm13080161.

Barron, K., Kung, E., Proserpio, D. (2020). The Effect of Home-Sharing on House Prices and Rents: Evidence from Airbnb. Marketing Science, 40(1), 23-47; https://doi.org/10.1287/mksc.2020.1227.

Békés, G., Kézdi, G. (2021). Data Analysis for Business, Economics, And Policy. Cambridge University Press.

Bertrand, M., Duo, E., Mullainathan, S. (2004). How much should we trust differences-indifferences estimates? The Quarterly Journal of Economics, 119(1), 249-275; https://doi.org/10.1162/003355304772839588.

Duso, T., Michelsen, C., Schaefer, M. Tran, K.D. (2024). Airbnb and rental markets: Evidence from Berlin. Regional Science and Urban Economics, 106, 104007; https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2024.104007.

Franco, S.F., Santos, C.D. (2021). The impact of Airbnb on residential property values and rents: Evidence from Portugal. Regional Science and Urban Economics, 88, 103667; https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2021.103667.

Garcia-López, M.À., Jofre-Monseny, J., Martínez-Mazza, R., Segú, M. (2020). Do short-term rental platforms affect housing markets? Evidence from Airbnb in Barcelona. Journal of Urban Economics, 119, 103278; https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103278.

Gonçalves, D., Peralta, S., Pereira dos Santos, J. (2022). Short-Term Rental Bans and Housing Prices: Quasi-Experimental Evidence from Lisbon. IZA Discussion Papers 15706, Institute of Labor Economics (IZA); http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4513823.

Greene, W. (2018). Econometric Analysis. 8.ª Edição, Pearson Education Limited, London.

Hernán, M.A., Robins, J.M. (2020). Causal Inference: What If. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.

Horn, K., Merante, M. (2017). Is home sharing driving up rents? Evidence from Airbnb in Boston. Journal of Housing Economics, 38, 14-24; https://doi.org/10.1016/j.jhe.2017.08.002.

Mateus, R.J.G., Bana e Costa, J.C., Matos, P.V. (2017). Supporting Multicriteria Group Decisions with MACBETH Tools: Selection of Sustainable Brownfield Redevelopment Actions. Group Decision and Negotiation, 26, 495–521; https://doi.org/10.1007/s10726-016-9501-y.

Mateus, R., Padilha, D. (2017). Avaliação multicritério da fragilidade do território no Brasil: A silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. Finisterra, 52(104), 73-104; https://doi.org/10.18055/Finis6971.

Nieuwland, S., van Melik, R. (2020). Regulating Airbnb: how cities deal with perceived negative externalities of short-term rentals. Current Issues in Tourism, 23(7), 811–825; https://doi.org/10.1080/13683500.2018.1504899.

Kaplan, R.A., Nadler, M.L. (2015). Airbnb: A Case Study in occupancy regulation and taxation. University of Chicago Law Review online, 82(1), 7; https://chicagounbound.uchicago.edu/uclrev_online/vol82/iss1/7.

Newey, W.K., West, K.D. (1987). A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix. Econometrica, 55(3), 703-708; https://doi.org/10.2307/1913610.

Nobre, F., Gonçalves, D.J., Cruz, R. (2023). Short-term Rentals and the Housing Market: Evidence From Portuguese Metropolitan Areas. CeBER Working Papers, 4/2023; http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4532561.

Pearl, J., Glymour, M., Jewell, N. P. (2016). Causal Inference in Statistics: A Primer. Chichester: John Wiley & Sons.

von Briel, D., Dolnicar, S. (2021). The evolution of Airbnb regulation - An international longitudinal investigation 2008–2020. Annals of Tourism Research, 87, 102983; https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102983.

Wooldridge, J.M. (2019). Introductory Econometrics: A Modern Approach. 7.ª Edição, Cengage Learning.

ID40
Mobilidade Partilhada: Análise da Perceção da População com Modelos de Previsão

J. N. Soares ([1]), V. Miguéis ([1]), B. Oliveira ([1])
up202105364@up.pt, vmlo@fe.up.pt, beatriz.oliveira@fe.up.pt

([1]) INESC TEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Resumo

Atualmente, a mobilidade urbana enfrenta desafios significativos, como tráfego, poluição ambiental e desigualdade no acesso. Surgem, então, novos meios de transporte para combater estes problemas, conhecidos como mobilidade partilhada. Estes meios permitem ao utilizador o acesso temporário a veículos conforme a necessidade, otimizando recursos subutilizados, promovendo a multimodalidade e reduzindo os custos de transporte. No entanto, a literatura científica sobre mobilidade partilhada ainda está em crescimento, especialmente no entendimento da perceção pública e dos fatores de adoção. Compreender esses aspetos é crucial para desenvolver modelos e políticas de transporte eficazes e sustentáveis, orientando governantes e empresas na adaptação das suas estratégias. Este estudo visa analisar as perceções públicas sobre mobilidade partilhada e os fatores que as influenciam, utilizando modelos preditivos avançados. Este estudo recorre a dados obtidos a partir de um questionário e utiliza diversos algoritmos, nomeadamente Árvores de Decisão, Floresta Aleatória, *Gradient Boosting* e *K-Nearest Neighbour*. Os modelos obtidos foram avaliados com base na exatidão, precisão e sensibilidade para identificar o modelo que melhor captura a perceção da comunidade sobre mobilidade partilhada. O estudo permitiu determinar fatores socioeconómicos que influenciam significativamente a perceção pública. Os inquiridos com rendas menores e custos de transporte público mensais mais elevados são aqueles que consideram a mobilidade partilhada menos benéfica para si. Estes resultados enfatizam a importância dos fatores socioeconómicos na conceção de serviços de mobilidade partilhada inclusivos e eficazes.

Palavras-Chave: Mobilidade partilhada, Mobilidade, Modelos preditivos, Sustentável, Economia de partilha,

1. Introdução

Mobilidade refere-se ao movimento de bens, serviços e pessoas de um ponto para outro, e aos diversos meios pelos quais esse movimento é realizado (Global System for Sustainable Development, 2020). Atualmente a mobilidade urbana enfrenta diversos desafios significativos que afetam diretamente a qualidade de vida nas cidades, a saúde das suas populações e a sustentabilidade dos sistemas de transporte. Esses desafios são acentuados pelo crescimento populacional e pela urbanização acelerada, que aumentam a procura por infraestruturas e serviços de transporte mais eficientes. Problemas como congestionamento do tráfego, poluição ambiental (Allam & Sharifi, 2022) e desigualdade no acesso aos meios de transporte (Bokolo, 2023) tornam-se cada vez mais presentes no dia a dia dos cidadãos. Desta forma, há uma necessidade urgente de transição para formas de mobilidade mais sustentáveis para mitigar estes problemas.

A mobilidade partilhada refere-se ao uso partilhado de um veículo, permitindo aos utilizadores terem acesso durante um curto espaço de tempo a meios de transporte conforme a sua necessidade, onde estes não têm posse total do meio de transporte (Shaheen et al. 2015). Estas novas formas de mobilidade têm crescido rapidamente nos últimos anos, motivadas por mudanças tecnológicas, económicas e sociais. A título de exemplo destaca-se o aumento em mais de 19 vezes do número de bicicletas para utilização pública desde 2014 (Felix Richter, 2018), motivada pelo foco crescente por parte dos governantes dos centros urbanos em combater tráfego e poluição, devido ao número elevado de carros nas estradas. O crescimento de plataformas como a Uber é outro exemplo. Esta plataforma registou entre 2016 e 2024 um aumento de aproximadamente 10 vezes da sua receita, de $3,85 mil milhões para $37,3 mil milhões (Hung Tran, 2024).

Esta nova forma de mobilidade procura maximizar a utilização de meios de transporte subutilizados, desconectando assim a utilização de posse (Shaheen & Cohen, 2018). Mobilidade partilhada permite aos utilizadores um acesso alargado a vários meios de transporte, aumentando a multimodalidade e reduzindo os custos, mas ao mesmo tempo mantendo o máximo nível de conveniência possível oferecido por veículos pessoais (Shaheen & Cohen, 2018).

São vários os prós e contras da mobilidade partilhada. De acordo com Machado (2018), algumas das vantagens relacionam-se com os custos reduzidos para os consumidores, e o facto de os utilizadores estarem diretamente conectados com os fornecedores. Além disso, em geral a mobilidade partilhada resulta em menor poluição e um estilo de vida mais saudável. Existe uma redução do tráfego nas estradas fruto do menor número de veículos. Por último os fornecedores também são afetados positivamente visto que são eles que definem os seus preços e disponibilidade, permitindo uma maior flexibilidade. Por outro lado, existem desvantagens inerentes à utilização destes meios de mobilidade. A maior possibilidade de fraude para os utilizadores e a imprevisibilidade e incerteza para os fornecedores resultam numa maior insegurança tanto para os utilizadores como fornecedores. Além disso, existe um risco acrescido de uso indevido dos serviços e a falta de regulação resulta em discriminação de preços e informação assimétrica para os consumidores. Outros fatores a considerar são os conflitos com a legislação em vigor relativa a serviços de mobilidade e a possibilidade de a vida social ser prejudicada pois a existência dos serviços de mobilidade partilhada dos quais pode ser gerada receita poderá levar a que as pessoas tendencialmente deixem de partilhar.

O crescimento acelerado da mobilidade partilhada na atualidade está intimamente relacionado com algumas das vantagens previamente mencionadas. O preço é um dos fatores de destaque, uma vez que a partilha de meios de transporte resulta em preços reduzidos (Machado et al. 2018). Além disso, a flexibilidade e conveniência são fatores importantes, pois os fornecedores definem quando e onde trabalham e os consumidores têm a possibilidade de requisitar com facilidade um serviço de mobilidade (Machado et al. 2018). O desenvolvimento tecnológico conecta, aproxima e melhora a segurança e a confiança entre as pessoas (Hartl et al 2024) e foi igualmente um dos motores por detrás do crescimento de empresas de serviços de mobilidade partilhada. A sustentabilidade, que é promovida através da utilização de recursos subutilizados, é da mesma forma uma motivação por trás deste crescimento (Machado et al. 2018). Com o aumento da população nas áreas urbanas, a procura por novos serviços de mobilidade torna-se cada vez mais evidente (Lukasiewicz et al. 2022) e por fim, o sentimento positivo resultado de ajudar outras pessoas que precisam de viajar entre lugares (Machado et al. 2018) é também um dos motivos que levou ao crescimento da mobilidade partilhada.

Contudo, a adoção de novos meios de mobilidade partilhada enfrenta alguma resistência por parte do público. Por este motivo, é crucial compreender quais os fatores que influenciam a perceção pública sobre a mobilidade partilhada e a adoção destes meios de transporte, de forma a desenvolver modelos e políticas de transporte eficazes e sustentáveis.

A literatura científica que explora os fatores que impactam a perceção pública sobre a mobilidade partilhada e a adoção destes meios de transporte, é ainda incipiente (Villa et al. 2022). Assim, este estudo visa analisar os fatores com impacto na perceção pública relativa à mobilidade partilhada e como é que influenciam esta perceção. Para tal, foram utilizados dados de um inquérito relativo à mobilidade e através dos quais criados e testados vários modelos preditivos que permitissem determinar a perceção das pessoas relativa à mobilidade partilhada. Seguidamente foi analisado o modelo com melhor performance relativamente às variáveis que mais impacto tinham nesta perceção. Espera-se desta forma, contribuir para a criação de soluções de mobilidade mais inclusivas e eficazes, capazes de enfrentar os desafios da mobilidade urbana e promover um ambiente urbano mais sustentável e equitativo.

2. Métodos e dados

Neste capítulo será apresentada a metodologia proposta para este projeto, sendo analisados os pontos de recolha e tratamento dos dados, os algoritmos preditivos utilizados e motivos pelos quais foram adotados, bem como as métricas usadas para aferir o desempenho dos modelos,

2.1. Modelo de aferição do impacto da mobilidade partilhada

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um modelo que permite a identificação da população que acredita que a mobilidade partilhada possa ter ou não um impacto positivo na sua vida quotidiana. Para tal, foram utilizados os dados de um questionário que analisa diversos aspetos relativos à mobilidade urbana.

Foram selecionados os utilizadores que tinham conhecimento prévio do que era mobilidade partilhada e foram agregados em grupos dependo da sua perceção relativa à mesma: positiva, neutra ou negativa. Posteriormente, recorreu-se a vários algoritmos de previsão, considerando como variáveis independentes os dados pessoais do utilizador, detalhados na secção seguinte. A variável dependente considerada relaciona-se com o valor relativo à perceção do benefício da mobilidade partilhada, aferido segundo uma escala de likert. Assim, este problema é classificado como sendo multi-classe.

Foram aplicados vários algoritmos com o objetivo de determinar qual teria o melhor desempenho preditivo e de seguida realizou-se uma análise interpretativa do melhor modelo, de forma a compreender quais os aspetos com mais impacto na perceção do utilizador sobre mobilidade partilhada. Finalmente foram analisadas diferenças entre os grupos de pessoas pertencentes às diferentes classes.

2.2. Dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de um questionário realizado no âmbito do projeto MOSH (Métodos avançados de modelação e aprendizagem da procura para a mobilidade sustentável e partilhada no futuro), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (2022.03138.PTDC). Este inquérito foi administrado na zona do Campus da Asprela, no Porto, de 20 a 24 de novembro de 2023. A amostra final foi de 698 participantes.

Para este projeto foi necessária uma preparação prévia dos dados. Inicialmente, foram criadas 3 categorias para os inquiridos: os que consideravam a mobilidade partilhada como benéfica, os que consideravam não benéfica e os que consideravam que não traria benefício nem prejuízo. A construção desta variável dependente foi baseada na seguinte questão do inquérito: "Acredito que a economia de partilha (p.ex., trotinetes partilhadas, Uber, etc.) é benéfica para mim". As opções disponíveis eram: Discordo totalmente, Discordo, Nem concordo nem discordo, Concordo, Concordo plenamente, Não sei/Não conheço, Prefiro não responder.

Com o objetivo de ter um modelo de previsão o mais objetivo possível, foi atribuído aos inquiridos que responderam "Discordo Totalmente" e "Discordo" a categoria Não Beneficia e "Concordo" e "Concordo plenamente" a categoria Beneficia, sendo que aos inquiridos que responderam "Nem concordo nem discordo" foi-lhes atribuído a categoria Neutro. Os que responderam "Não sei/Não conheço" e "Prefiro não responder" foram eliminados, visto que não se enquadravam no objetivo deste projeto. Pode ser observada na figura 1 a distribuição dos inquiridos por cada uma das classes.

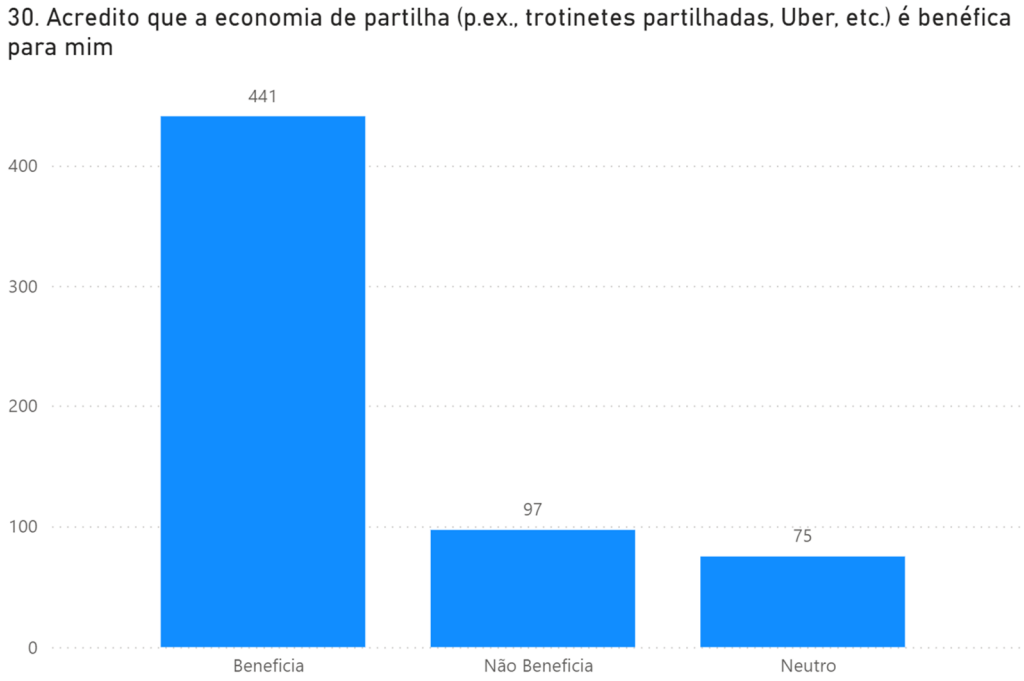


Figura 1: Frequência de respostas de cada categoria

As variáveis independentes utilizadas para a realização do modelo preditivo foram as respostas às seguintes questões: "Sexo?", "Qual é a sua formação académica mais elevada?", "Quantas pessoas têm menos de 13 anos no seu agregado familiar?", "Tem alguma dificuldade em utilizar os transportes públicos devido a uma deficiência ou incapacidade?", "Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?" e "Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?". Foi realizado um tratamento destas respostas eliminando os que responderam "Não sei" e "Prefiro não responder", conduzindo a amostra final de 613 respostas consideradas para o desenvolvimento do modelo.

Pode-se observar na Tabela 1 os resultados do questionário.

Tabela 1: Frequência de respostas

QUESTÃO	OPÇÕES	FREQUÊNCIA DAS RESPOSTAS
61. Sexo?	Masculino	301
	Feminino	312
62. Qual é a sua formação académica mais elevada?	4º ano	47
	6º ano	18
	9º ano	40
	12º ano	308
	Licenciatura	146
	Mestrado	44
	Doutoramento	10
63. Quantas pessoas têm menos de 13 anos no seu agregado familiar?	0	500
	1	89
	2	17
	3	4
	4	2
	5	1
64. Tem alguma dificuldade em utilizar os transportes públicos devido a uma deficiência ou incapacidade?	Sim	14
	Não	599
65. Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?	Não	194
	De Graça	66
	Menos de 15€	17
	16€ a 25€	67
	26€ a 35€	157
	Mais de 36€	112
66. Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?	0€	228
	Menos de 500€	176
	500€ a 1000€	110
	1000€ a 2000€	62
	Mais de 2000€	37

2.3. Algoritmos de Classificação

Foram utilizados 4 algoritmos de previsão de análise de dados: Árvores de Decisão, Floresta Aleatória, *Gradient Boosting* e *K-Nearest Neighbour*. Estes algoritmos permitem lidar com variáveis dependentes categóricas não lineares, são de fácil compreensão e em geral conseguem trabalhar com amostras relativamente pequenas de dados.

Para a construção e avaliação do seu potencial, os dados foram divididos numa amostra de 80% para treinar o modelo e 20% para testar. Esta é uma divisão padrão no âmbito do machine learning, ao que se seguiu o treino dos algoritmos e a avaliação do seu desempenho. Para este efeito recorreu-se à biblioteca sklearn em *python* onde para o algoritmo Floresta Aleatória foram utilizadas 100 árvores, para o algoritmo *Gradient Boosting* foram realizadas 100 iterações e para o *K-Nearest Neighbour*, foram definidos 8 vizinhos, sendo o resto dos parâmetros definidos por defeito pela biblioteca.

Nas próximas secções irão ser descritas brevemente os algoritmos considerados neste projeto.

2.2.1. Árvores de Decisão

Árvores de Decisão (Quinlan, 1986) baseiam-se no conceito de dividir para conquistar. O conjunto inicial de dados é progressivamente dividido em subconjuntos menores. Estas subdivisões são baseadas nos valores de uma variável independente escolhida de acordo com um critério de seleção de atributos, ou seja, um critério que identifica o atributo que "melhor" separa um dado conjunto de objetos em classes individuais.

Para cada subconjunto, é criado um nó. O processo é então repetido subsequentemente nos dados dos nós, até que um critério de término seja satisfeito. Uma árvore de decisão tem uma estrutura em árvore, onde cada nó pode representar uma folha ou um nó de decisão. Uma folha indica o valor da classe. Um nó de decisão, especifica algum teste a ser realizado numa única variável explicativa.

2.3.2. Floresta Aleatória

Florestas aleatórias (Breiman, 2001), fazem parte do grupo das técnicas de agrupamento, pois combinam múltiplas árvores de decisão para superar o desempenho de cada árvore de decisão individual. Normalmente, esta técnica permite superar problemas relacionados com *overfitting* (modelo funciona muito bem com o conjunto de dados onde foi treinado, mas não tão bem com outro) e ruído nos dados (dados desnecessários e irrelevantes), que são difíceis de superar com uma única árvore. Cada árvore de decisão utilizada pelo algoritmo de floresta aleatória é gerada com base em diferentes subconjuntos de treino, que são selecionados independentemente e com uma amostra aleatória de atributos. Cada árvore de decisão dá uma classificação para cada objeto, chamada de "voto" para essa classe. A floresta aleatória atribui a cada objeto a classe com o maior número de votos (entre todas as árvores na floresta).

2.3.3. *Gradient Boosting*

Gradient Boosting (Natekin & Knoll, 2013) é uma forma específica das técnicas de agrupamento, que procura melhorar a performance através do treino sequencial de modelos, cada modelo compensando pelas fraquezas do precedente. Neste caso, cada modelo novo criado, foca-se nas falhas do modelo testado. A previsão final é obtida através de uma maioria ponderada dos vários modelos, sendo esta ponderação feita através da exatidão obtida por cada modelo.

2.3.4. *K-Nearest Neighbour* (KNN)

K-Nearest Neighbour (Cunningham & Delany, 2021) é um modelo de análise preditiva, que realiza previsões de dados com base nos outros dados mais próximos, chamados “vizinhos mais próximos”. Este modelo é utilizado tanto em problemas de regressão como de classificação e tem recebido mais reconhecimento devido a novos avanços tecnológicos que reduzem o tempo necessário para criação do modelo.

2.4. Critérios de Avaliação

De forma a avaliarmos a performance do modelo de previsão proposto, foram utilizados a exatidão total, sensibilidade e precisão de cada classe. Considerando TA, TB e TC como o número de vezes que o modelo atribuiu corretamente a classe Não Beneficia, Neutro e Beneficia respetivamente e FA, FB e FC o número de vezes que o modelo incorretamente atribuiu a classe Não Beneficia, Neutro e Beneficia respetivamente. Observa-se, na equação 1, 2 e 3 a equação da exatidão, precisão e sensibilidade respetivamente.

$$E = \frac{TA + TB + TC}{TA + FA + TB + FB + TC + FC} \quad \text{(Equação 1: Exatidão)}$$

$$P = \frac{TA}{TA + FA} \quad \text{(Equação 2: Precisão)}$$

$$S = \frac{TA}{TA + FB(objeto\ pertencia\ \text{à}\ classe\ \ \text{Não}\ Beneficia) + FC(objeto\ pertencia\ \text{à}\ classe\ \text{Não}\ Beneficia} \quad \text{(Equação 3: Sensibilidade)}$$

3. Resultados

A Tabela 2 apresenta as métricas de qualidade preditiva de cada modelo obtido a partir dos algoritmos adotados no estudo.

Tabela 2: Performance dos modelos preditivos

	ÁRVORE DE DECISÃO	FLORESTA ALEATÓRIA	*GRADIENT BOOSTING*	*K-NEAREST NEIGHBOUR*
Exatidão	60,16%	63,41%	68,29%	**72,36%**
Precisão da classe Não Beneficia	12%	0%	14%	**25%**
Precisão da classe Neutro	0%	0%	0%	**100%**
Precisão da classe Beneficia	72%	72%	73%	**74%**
Sensibilidade da classe Não Beneficia	9%	0%	4%	**4%**
Sensibilidade da classe Neutro	0%	0%	0%	**10%**
Sensibilidade da classe Não Beneficia	80%	87%	92%	**97%**

Estes resultados permitem aferir que o modelo que melhor consegue relacionar os dados pessoais dos inquiridos com a perceção da pessoa relativa à mobilidade partilhada é o *K-Nearest Neighbour*, apresentando uma exatidão de 72%.

Além disso, os resultados apresentados mostram o impacto do número reduzido de dados e o seu desequilíbrio das respostas. Relativamente à precisão da classe Não Beneficia, todos os modelos têm dificuldade em prever esta classe corretamente, já relativamente à classe Neutro, o modelo *K-Nearest Neighbour* destaca-se pela sua precisão de 100% quando comparado com os outros modelos que não conseguiram prever esta classe corretamente nenhuma das vezes. A sensibilidade das classes Não Beneficia e Neutro são baixas nos modelos utilizados, permitindo-nos assim determinar que os modelos têm dificuldade em encontrar os objetos de ambas as classes.

3.1. Análise das variáveis com mais impacto

Com o objetivo de interpretar estes resultados, foi necessário compreender que variáveis independentes contribuíram para a construção do modelo, de forma a determinar quais as características das populações com possível interesse na mobilidade partilhada. Esta análise é realizada através do algoritmo da importância da permutação (Altmann et al. 2010). Este algoritmo permite determinar a contribuição de cada variável independente para o modelo final, baseando-se na alteração da performance do modelo quando o valor da respetiva variável é misturado aleatoriamente. Quanto maior a perda de performance, mais relevante é a contribuição dessa variável para a qualidade da classificação. Os valores de importância da permutação variam entre 0 e 1, contudo valores negativos podem existir. Estes valores negativos indicam que as previsões feitas com os dados misturados foram mais exatas que a real, logo a variável não contribui para o modelo. Valores negativos são mais comuns quando o número de dados é reduzido.

Tabela 3: Importância da permutação

PERGUNTAS	IMPORTÂNCIA DA PERMUTAÇÃO
62. Qual é a sua formação académica mais elevada?	0,038
65. Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?	0,021
66. Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?	0,018
63. Quantas pessoas têm menos de 13 anos no seu agregado familiar?	0,009
64. Tem alguma dificuldade em utilizar os transportes públicos devido a uma deficiência ou incapacidade?	0,001
61. Sexo?	-0,004

Na Tabela 3 observa-se que a formação académica é um fator considerável, impactando a perceção das pessoas relativamente a mobilidade partilhada. A posse de assinatura mensal e rendimento mensal, ambos atributos relacionados a um certo nível com a situação económica pessoal, um dos grandes fatores por detrás do crescimento da mobilidade partilhada, também impactam significativamente o desempenho do modelo.

3.2. Análise e interpretação das respostas

Com o objetivo de identificarmos quais seriam as características das populações pertencentes a cada classe, foram analisadas as distribuições das respostas relativas aos fatores considerados importantes para distinguir o valor percecionado da mobilidade partilhada e comparadas com a distribuição da população total. Relativamente à formação académica mais elevada dos inquiridos, não foi possível identificar diferenças relevantes na distribuição entre as diferentes populações, contudo observamos uma diferença considerável de 5 pontos percentuais entre a população total que realizou o mestrado e a população que realizou o mestrado e pertence à classe Neutro, como se pode observar na Tabela 4.

Tabela 4: Respostas à pergunta "Qual é a sua formação académica mais elevada?"

Opções	População Total	Classe Não Beneficia	Classe Neutro	Classe Beneficia
4º ano	7,67% (47)	7,22% (7)	9,33% (7)	7,48% (33)
6º ano	2,94% (18)	5,15% (5)	2,67% (2)	2,49% (11)
9º ano	6,53% (40)	8,25% (8)	4% (3)	6,58% (29)
12º ano	50,24% (308)	44,33% (43)	44% (33)	52,61% (232)
Licenciatura	23,82% (146)	27,84% (27)	25,33% (19)	22,68% (100)
Mestrado	**7,18% (44)**	5,15% (5)	**12% (9)**	6,8% (30)
Doutoramento	1,63% (10)	2,06% (2)	2,67% (2)	1,36% (6)

Por outro lado, os dados relativos ao custo da assinatura mensal de transportes públicos, revelam uma diferença de 10 pontos percentuais entre a população total que paga mais de 36 euros por mês em transportes públicos e a população pertencente ao grupo Não Beneficia que paga o mesmo valor mensalmente, permitindo-nos aferir que os utilizadores de transportes públicos que pagam valores mais elevados, tendencialmente, consideram a mobilidade partilhada como não benéfica (Tabela 5).

Tabela 5: Respostas à pergunta "Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?"

Opções	População Total	Classe Não Beneficia	Classe Neutro	Classe Beneficia
Não	31,65% (194)	32,99% (32)	32% (24)	31,29% (138)
Não Paga	10,77% (66)	8,25% (8)	9,33% (7)	11,56% (51)
<15€	2,77% (17)	5,15% (5)	4% (3)	2,04% (9)
16€ a 25€	10,93% (67)	8,25% (8)	12% (9)	11,34% (50)
26€ a 35€	25,61% (157)	17,53% (17)	26,67% (20)	27,21% (120)
>36€	**18,27% (112)**	**27,84% (27)**	16% (12)	16,55% (73)

Pode ser observado nas Figuras 2 e 3 a diferença entre as distribuições da população total e pertencentes à classe Não Beneficia.

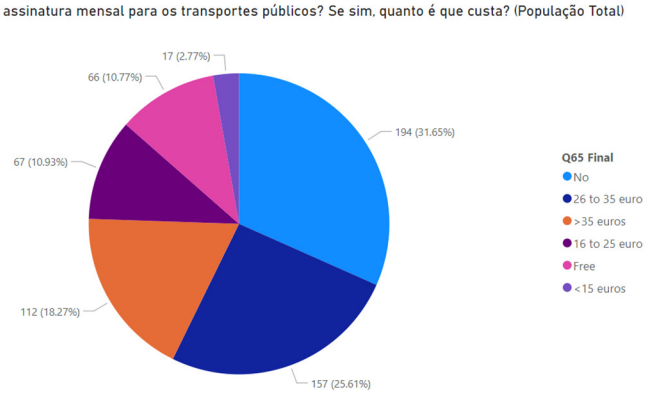


Figura 2: Distribuição das respostas à pergunta "Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?" da população total

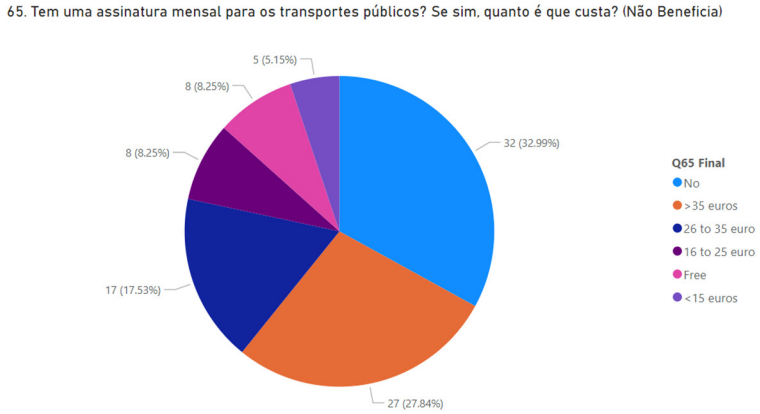


Figura 3: Distribuição das respostas à pergunta "Tem uma assinatura mensal para os transportes públicos? Se sim, quanto é que custa?" da classe Não Beneficia

Os dados relativos ao rendimento mensal aproximado após descontados os impostos demostram também que pessoas com rendimentos mensais menores, tendem a percecionar a mobilidade partilhada como não benéfica, como observamos na Tabela 6, onde existe um aumento de 8 pontos percentuais entre as pessoas que recebem um salário de 500€ a 1000€ pertencentes à população total e pertencentes ao grupo Não Beneficia.

Tabela 6: Respostas à pergunta "Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?"

Opções	População Total	Classe Não Beneficia	Classe Neutro	Classe Beneficia
0	37,19% (228)	28,87% (28)	44% (33)	37,87% (167)
<500€	**10,11% (62)**	**14,43% (14)**	8% (6)	9,52% (42)
500€ a 1000€	**28,71% (176)**	**37,11% (36)**	25,33% (19)	27,44% (121)
1000€ a 2000€	17,94% (110)	15,46% (15)	18,67% (14)	18,37% (81)
>2000€	6,04% (37)	4,12% (4)	4% (3)	6,8% (30)

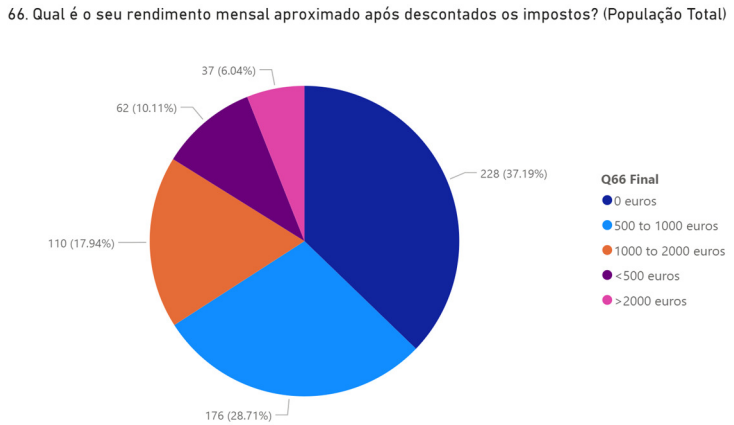


Figura 4: Distribuição das respostas à pergunta "Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?" da população total

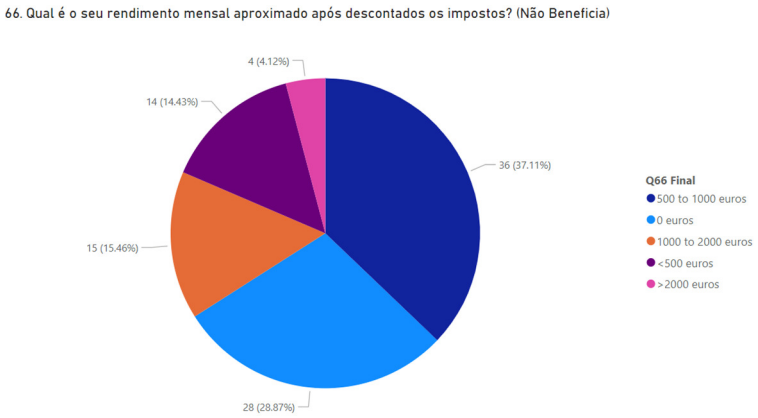


Figura 5: Distribuição das respostas à pergunta "Qual é o seu rendimento mensal aproximado após descontados os impostos?" da classe Não Beneficia

As Figuras 4 e 5 permitem uma fácil visualização das distribuições da população total e do grupo Não Beneficia e das diferenças entre as mesmas.
Observa-se desta forma algumas características relativamente aos cidadãos que percecionam a mobilidade partilhada como não sendo benéfica, nomeadamente o facto de pagarem mensalmente mais de 36€ e o facto de terem salários menores do que 1000 euros. O impacto dos fatores económicos na perceção das pessoas é notável sobretudo para aqueles que precisam de realizar um maior esforço económico na sua deslocação.

4. Conclusão

Este artigo tem como objetivo explorar a perceção individual dos cidadãos em relação à mobilidade partilhada. Para tal, foi realizada uma análise da literatura relativa à mobilidade partilhada, as suas vantagens e desvantagens. Seguidamente foram analisadas as respostas de um inquérito relacionado com a mobilidade, através do qual foi desenvolvido um modelo preditivo que permitisse determinar a perceção das pessoas relativamente à mobilidade partilhada utilizando dados socioeconómicos, como sexo, rendimento mensal entre outros. Uma análise aprofundada do modelo utilizando a técnica da importância da permutação permitiu determinar que a formação académica, o custo mensal do passe de transportes públicos e o rendimento mensal são os fatores com impacto considerável na perceção das pessoas relativamente à mobilidade partilhada. Por fim, foram analisadas as diferenças das distribuições das respostas às diferentes perguntas por parte de todos os inquiridos e por parte daqueles que têm uma opinião positiva, negativa e neutra. Com isto foi possível determinar que salários menores e custos de passe mensais mais elevados poderão levar a uma perceção mais negativa relativa a meios de mobilidade partilhada.

Este estudo apresenta contribuições significativas e impactantes, uma vez que é imperativo compreender o que motiva ou impede as pessoas de adotarem a mobilidade partilhada. Apenas com esse entendimento será possível desenvolver políticas e estratégias eficazes que incentivem a utilização de formas de transporte mais ecológicas. Políticas bem informadas, baseadas em dados sólidos e análises detalhadas, são essenciais para enfrentar os desafios atuais da mobilidade urbana de forma a promover um ambiente urbano mais saudável, inclusivo e sustentável. Ao aprofundar o conhecimento sobre os fatores que influenciam a perceção pública e a adoção da mobilidade partilhada, este estudo aponta o caminho para um futuro onde as cidades são mais verdes, as comunidades mais conectadas e a qualidade de vida é significativamente melhorada. Futuramente, espera-se ser capaz de estender este estudo, utilizando um número mais elevado de dados de outras localizações geográficas que permitam obter modelos mais robustos. Espera-se ainda ser capaz de explorar outros dados socioeconómicos dos cidadãos que possam ter impacto na perceção dos mesmos relativamente à mobilidade partilhada

Agradecimentos

Este trabalho é parcialmente financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto «2022.03138.PTDC».

Referências

Allam, Z., & Sharifi, A. (2022). Research Structure and Trends of Smart Urban Mobility. *Smart Cities*, *5*(2), 539–561. https://doi.org/10.3390/smartcities5020029

Altmann, A., Toloşi, L., Sander, O., & Lengauer, T. (2010). Permutation importance: a corrected feature importance measure. *Bioinformatics*, *26*(10), 1340–1347. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq134

Bokolo, A. J. (2023). Inclusive and Safe Mobility Needs of Senior Citizens: Implications for Age-Friendly Cities and Communities. *Urban Science*, *7*(4), 103. https://doi.org/10.3390/urbansci7040103

Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/a:1010933404324

Cunningham, P., & Delany, S. J. (2021). k-Nearest Neighbour Classifiers - A Tutorial. *ACM Computing Surveys*, *54*(6), 1–25. https://doi.org/10.1145/3459665

Hartl, B., Marth, S., Hofmann, E., & Penz, E. (2024). "One bad apple won't spoil the bunch" – Representations of the "sharing economy." *Journal of Business Research*, *176*, 114580. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114580

Lukasiewicz, A., Sanna, V. S., Diogo, V. L. A. P., & Bernát, A. (2022). Shared Mobility: A Reflection on Sharing Economy Initiatives in European Transportation Sectors. *The Sharing Economy in Europe*, 89–114. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86897-0_5

Machado, C. A. S., De Salles Hue, N. P. M., Berssaneti, F. T., & Quintanilha, J. A. (2018). An Overview of Shared Mobility. *Sustainability*, *10*(12), 4342. https://doi.org/10.3390/su10124342

Mobility & Transportation | Global System for Sustainable Development. (2020, August 27). Retrieved July 26, 2024, from gssd.mit.edu website: https://gssd.mit.edu/knowledge-system/guide-core-concepts/mobility-transportation

Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, *7*(21). https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021

Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning*, *1*(1), 81–106. https://doi.org/10.1007/bf00116251

Richter, F. (2018, July 3). Infographic: Bike-Sharing Clicks Into Higher Gear. Retrieved July 25, 2024, from Statista Infographics website: https://www.statista.com/chart/14542/bike-sharing-programs-worldwide/

Shaheen, S., Chan, N., & Bansal, A. (2015). *Shared Mobility: A Sustainability & Technologies Workshop: Definitions, Industry Developments, and Early Understanding*.

Shaheen, S., & Cohen, A. (2018). Shared Mobility Policy Briefs: Definitions, Impacts, and Recommendations. *Escholarship.org*. https://doi.org/10.7922/G27S7KX6

Tran, H. (2024, February 26). Uber's Projected Growth Is Fully Reflected in Its Share Price. Retrieved July 5, 2024, from www.gurufocus.com website: https://www.gurufocus.com/news/2352325/ubers-projected-growth-is-fully-reflected-in-its-share-price

Villa, E., Preti, G., Riva, M., Breschi, V., & Tanelli, M. (2022). Sharing-DNA: a data-driven tool to map the attitude towards sharing services across Europe. *2022 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. https://doi.org/10.1109/isc255366.2022.9922146

ID41
Estudo e Análise da Aplicabilidade da Realidade Aumentada num Processo de Montagem de Banco de Ensaio de Bicicleta

Ana Oliveira ([1,2]), Joana Menezes ([1,2]), José Torres Farinha ([1,2]), Mateus Mendes ([1,2])
a21280479@isec.pt, joana.menezes@bikinnov.pt, mmendes@isec.p, tfarinha@isec.pt

([1]) Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Rua Pedro Nunes - Quinta da Nora, 3030-199 Coimbra, Portugal
([2]) RCM^{2+} - Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Sistemas de Engenharia, Coimbra, Portugal

Resumo

O ensaio do quadro de bicicletas exige a sua montagem num banco de ensaios, que engloba vários procedimentos e respeito de normas que devem ser seguidas. A Realidade Aumentada, surge como solução para facilitar esse processo, permitindo a redução do tempo de execução da montagem e a diminuição da probabilidade de erros. O presente artigo tem como objetivo descrever o estudo sobre a aplicação da Realidade Aumentada no processo de montagem de um quadro de bicicleta num banco de ensaios, para efetuar o ensaio de fadiga com forças a pedalar. De forma a fundamentar a viabilidade deste projeto foi efetuada uma revisão abrangente da literatura. Com base nesse estudo, foi descrito detalhadamente como o sistema poderá funcionar. Para esta etapa recorreu-se aos casos de uso. Posteriormente, com a base do projeto definido, procedeu-se a uma análise exaustiva relativamente ao hardware e software existentes, com o intuito de determinar quais seriam capazes de garantir a exequibilidade deste projeto.

Palavras-Chave: Realidade Aumentada, Óculos de Realidade Aumentada, Otimização, Ensaio de Bicicletas, Bicicletas.

1. Introdução

O impulso das novas tecnologias tem permitido transformar os ambientes fabris, implementando sistemas capazes de mitigar riscos e erros resultando no aprimoramento dos produtos e processos e, consequentemente, no aumento da eficiência laboral. Este impulso pela inovação está intimamente ligado à evolução da Indústria 4.0 e à adoção de tecnologias como a Realidade Aumentada (RA) e a realidade virtual (Martinetti et al., 2017).

No âmbito de um projeto de Otimização de processos para aumento da eficiência operacional no setor das duas rodas, foi identificada a falta de instruções adequadas para a montagem do banco de ensaio de bicicletas. No projeto mencionado, foi destacado que a falta de instruções claras e disponíveis resultava em variações no fluxo de tarefas e consequente demora excessiva na sua realização. Como solução, considerou-se a possibilidade da utilização de óculos de RA, com o intuito de permitir aos técnicos executar as atividades seguindo um fluxo consistente e otimizado, com as instruções sempre disponíveis.

A Realidade Aumentada tem sido uma ferramenta cada vez mais pesquisada e debatida, uma vez que permite sobrepor informação digital no ambiente físico, e fornece atualizações em tempo real, o que facilita a tomada de decisão de forma mais informada. Deste modo é possível reduzir os custos, acelerar o tempo de produção e reduzir significativamente a probabilidade de erros humanos. De forma a fundamentar a viabilidade deste projeto foi efetuada uma revisão abrangente da literatura. Com base neste estudo, foi descrito detalhadamente como o sistema poderá funcionar. Para esta etapa recorreu-se a casos de uso. Posteriormente, com base no projeto definido, procedeu-se a uma análise exaustiva relativamente a hardware e software existentes, com o intuito de determinar quais seriam capazes de garantir a exequibilidade deste projeto.

2. Revisão da literatura

2.1. Enquadramento teórico

As várias revoluções industriais têm sido marcos significativos na história da humanidade, que originaram mudanças profundas na forma como se produz, trabalha e vive. Ao longo da história, a humanidade aperfeiçoou a sua indústria, não confiando apenas na evolução técnica, mas também reinventando-a à medida que novos recursos criaram novos meios técnicos (Groumpos, 2021).

Atualmente, na era da Indústria 4.0, caracterizada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas, registam-se avanços significativos em áreas como Inteligência Artificial, Internet das Coisas (IoT), *big data*, computação em nuvem e, significativamente, Realidade Aumentada e Realidade Virtual (RV). Isto tem permitido transformar as fábricas em ambientes mais inteligentes e autónomos, permitindo otimizar a eficiência produtiva, redefinir o modo como as pessoas trabalham, simplificar e agilizar os vários procedimentos, como por exemplo o acesso à informação.
Como exemplo disso, segundo o Relatório de Realidade Aumentada e Virtual realizado pela Perkins Coie em 2020, os três principais setores mais proeminentes previstos para adotar de forma mais imersiva essa tecnologia (incluindo AR/VR) são jogos (47%), dispositivos de saúde (38%) e educação (28%) (Gunawan et al., 2023). Este estudo reflete a tendência crescente na adoção destas tecnologias em diversas áreas.

Um outro aspeto positivo inerente a estas novas tecnologias reside na capacidade de melhorar a segurança dos técnicos de manutenção. Na europa, infelizmente, ainda ocorrem muito acidentes fatais devido à natureza de algumas tarefas ou por erros humanos evitáveis. Desta forma, a Realidade Aumentada surge como uma solução para estes desafios (Martinetti et al., 2017).

A Realidade Aumentada adiciona informação virtual ao mundo real, enquanto a Realidade Virtual cria um ambiente totalmente virtual. A Realidade Mista combina elementos destas duas tecnologias, permitindo aos utilizadores uma interação dinâmica com objetos físicos e virtuais em simultâneo (Rodello et al., 2010).
Os aprimoramentos das inovações tecnológicas são essenciais para as empresas que pretendem manter-se competitivas num mercado global em constante evolução. No entanto, as empresas necessitam de proporcionar formação aos seus colaboradores, o que se torna um desafio devido aos custos associados e ao processo demorado.

2.2. Trabalhos relacionados

Face ao constante avanço da inovação, efetuou-se uma pesquisa abrangente na área da Realidade Aumentada na indústria, de modo a obter um conhecimento mais aprofundado das práticas e tendências utilizadas para adaptar a solução mais eficiente às necessidades exigidas.
Martin-Gutierrez & Martín-Gutierrez, (2014) utilizam a Realidade Aumentada para criar uma aplicação para prestar assistência na manutenção do sistema de travagem de bicicletas de montanha, de forma fácil e acessível. Para isso foram desenvolvidos dois protótipos: um sistema de RA para ser visualizada no ecrã de um smartphone e o outro através de um HMD ligado a um PC. Em ambas as versões, as instruções são fornecidas através de áudio, que guiará o utilizador, passo a passo, na instalação do sistema de travões, que inclui a troca dos calços de cartucho e os ajustes no cabo de tensão. Para desenvolver os protótipos, foram desenvolvidas *interfaces* baseadas em marcadores em 3D, instalados no guiador da bicicleta para facilitar o acesso durante a execução das tarefas de manutenção. O *software* utilizado para a versão *smartphone* foi o Build_AR e, na versão de computador a AndAR, ambos *software* GPL (GNU - General Public License). Para a modelação 3D das peças, foi utilizado o *software* Autodesk Inventor 3D. De modo a verificar a eficácia dos protótipos, ambas as versões foram testadas. Os resultados evidenciaram que o método proposto era adequado, e foi considerada uma aplicação muito intuitiva e estimulante. A aplicação de RA mostrou-se promissora, não só para a manutenção de bicicletas, mas também para ser aplicada noutras áreas.

Zenati *et al*., (2013) descrevem um sistema de e-manutenção através de RA, com a colaboração da assistência remota entre o operador e o técnico especialista para executar as tarefas de manutenção nos carros. Os principais objetivos para este sistema eram nomeadamente a redução dos custos das tarefas de manutenção, melhorar o tempo necessário para completar as tarefas de manutenção e melhorar a comunicação entre os técnicos e os especialistas. Tendo em conta estes objetivos, utilizaram a arquitetura SOA (arquitetura orientada a serviços), para facilitar a colaboração remota entre os técnicos, e o WCF (Windows Communication Foundation), para facilitar a troca de dados e informação entre os intervenientes. Para além disso, foi utilizado o I-ARToolkit para dar suporte visual. O *hardware* proposto para este sistema foi o Vuzix Wrap™ 920, que possui uma câmara incorporada que permite transmitir em tempo real para o técnico especialista, o que possibilita de imediato que este proponha um procedimento de manutenção.

O estudo conduzido por (Treinen & Kolla, 2024) analisa diversas aplicações da RA na indústria, com foco na inspeção da qualidade, montagem e assistência remota. Para esse efeito foi utilizado *software* personalizado e comercial, bem como aplicações POC (Prova de Conceito) para dispositivos portáteis (HHD) e para óculos de RA (HMD). Para a inspeção de qualidade utilizaram o You Only Look Once (YOLO), destacando o modelo YOLO V8 porque apresentava melhores resultados na deteção de objetos, e para os procedimentos de montagem e assistência remota utilizaram o *software* comercial a Pocket Virtuality. Para além disso, devido a dificuldades de conexão entre o dispositivo e o servidor, utilizaram o software Ngrok. Para avaliar a eficácia destes dois métodos foram efetuados estudos comparativos, entre operadores experientes e inexperientes. O *feedback* dos operadores indicou a necessidade de melhoria na aplicação. Após este melhoramento, verificou-se um ligeiro aumento na carga de trabalho cognitiva.

Mourtzis et al., (2020) descrevem um *framework* baseado em visão computacional avançada e Redes Neuronais Convolucionais (CNN) para auxiliar os técnicos nas operações de manutenção de equipamentos industriais. O sistema proposto está dividido em três módulos, o primeiro diz respeito ao reconhecimento automático dos componentes e do ambiente físico, tornando as aplicações de RA mais acessíveis e exigindo menos competências especializadas. O segundo pelo processamento de imagens pelo CNN para identificar os componentes que formam a máquina tendo em conta o modelo e o tipo. O terceiro módulo é responsável por criar instruções que serão visualizadas nos óculos de RA, sem a necessidade de marcadores. *O hardware* utilizado para capturar imagens foi o Microsoft HoloLens. Para o desenvolvimento dos módulos referidos, foi utilizado o Microsoft Visual Studio IDE, o TensorFlow e a API de alto nível Keras. Relativamente ao módulo de RA foram utilizados o Unity 3D e MRTK pela simplicidade na criação de conteúdo de RA, e a API Vuforia que oferece recursos de deteção, rastreamento de objetos e reconhecimento de imagens. Os vários testes referem a existência de algumas limitações no módulo de visão computacional, isto porque não foi possível obter resultados em tempo real, mas sim em tempo quase real. A CNN, de modo geral, demonstrou resultados bastante favoráveis, porém notou-se uma variação na precisão ao longo de cada teste.

Li et al., (2024) desenvolveram um sistema de assistência para a montagem manual de produtos complexos, utilizando tecnologias de RA e IA. A inspeção da qualidade da montagem envolveu duas etapas: *offline* e *online*. Na etapa *offline* os modelos CNN foram projetados e treinados com um conjunto de determinados dados. Após esse treino, os modelos são inseridos no sistema de montagem assistida por RA. Na etapa *online*, esses modelos CNN são utilizados para realizar tarefas de registo de RA e inspeção da qualidade da montagem em tempo real, utilizando uma câmara monocular para capturar as imagens do ambiente de montagem. O sistema de RA exibia modelos virtuais das peças e notificava os operadores para eventuais falhas de montagem. Comparando os métodos tradicionais com o sistema proposto, este demostrou alta precisão e rapidez. Contudo, ao adicionar a inspeção de qualidade o processamento aumentava, comprometendo a eficiência do sistema.

O estudo de (Neb et al., 2021) incide na criação automatizada para a assistência de montagem com RA através de modelos CAD 3D, de forma a facilitar o processo de montagem. De modo a viabilizar a utilização dos modelos CAD no dispositivo HoloLens 2 foi necessário converter esses modelos em formatos STL, seguidos de um único arquivo GLTF. A partir dos dados convertidos são geradas automaticamente as instruções de montagem, incluindo as animações dos processos de montagem. O técnico encarregado pelo projeto, através da interface de assistência, realiza os ajustes necessários. As instruções são então disponibilizadas para o supervisor, que configura o local de trabalho para o operador usando o HoloLens 2. Por último, o operador pode aceder às instruções de montagem de RA utilizando o Microsoft HoloLens 2 para o orientarem em cada etapa do processo de montagem. O *framework* utilizado foi o UnityGLTF. O método apresentado mostrou ser eficaz, pois simplifica o processo de criação de instruções de assistência de montagem a partir de modelos CAD 3D, o que permitiu reduzir significativamente o esforço necessário para implementar a assistência de montagem em ambiente industrial.

3. Levantamento de Requisitos

No desenvolvimento de sistemas é crucial estabelecer uma estrutura clara e organizada para que o sucesso do projeto seja alcançado. Neste sentido foi necessário delinear quem utilizará o sistema, para que propósito e de que forma.
A Figura 1 ilustra os casos de uso identificados para a aplicação nos óculos de RA, sendo o actor o operador, cujo objetivo é a montagem do banco para o ensaio de forças a pedalar, enquanto as elipses descrevem as funcionalidades que o sistema terá de executar.

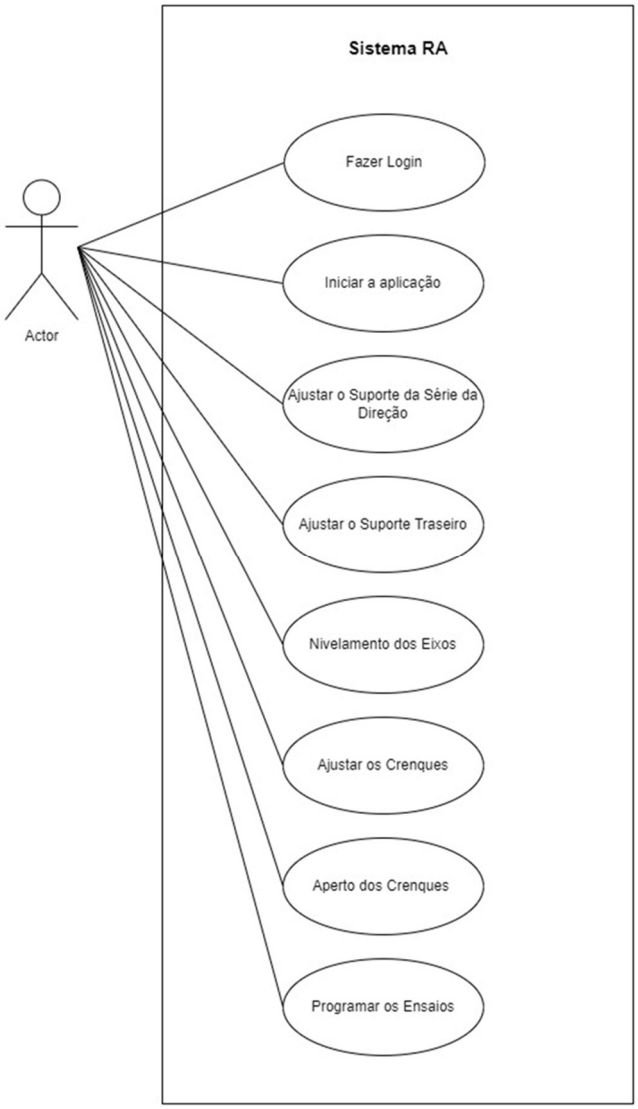


Figura 1 - Diagrama de casos de uso do sistema proposto.

Segue-se a descrição detalhada de cada caso de uso, estabelecendo as bases fundamentais para garantir que todos os requisitos sejam atendidos, facilitando assim a implementação do projeto.

- O primeiro caso de uso diz respeito ao "Login", que descreve o processo desde o momento em que o operador coloca os óculos de RA e inicia a aplicação. Em seguida o sistema solicita a inserção de um PIN de quatro caracteres. O sistema valida, ou não, estes novos dados. Caso seja válido o sistema prossegue para o próximo passo, senão pede novo PIN. Este procedimento visa garantir que apenas os operadores autorizados possam utilizar este sistema, assegurando a segurança de acesso.
- O caso de uso "Iniciar a aplicação" descreve o processo em que, após a autenticação bem-sucedida, o sistema apresenta uma interface com as opções disponíveis. Neste caso, o operador seleciona "Montagem do Banco para Bicicletas" para iniciar o teste montagem.
- O caso de uso "Ajustar o Suporte da Série da Direção" descreve o procedimento que o operador deve seguir para ajustar o suporte de direção conforme indicado pelo sistema. Após realizar estas tarefas, o operador confirma a ação realizada para avançar para o próximo passo.
- Novamente, o sistema exibirá os passos necessários para o operador ajustar o suporte traseiro. Após posicionar o eixo traseiro conforme as especificações indicadas, o operador confirma a ação e avança para a etapa seguinte.
- O caso de uso "Nivelamento dos eixos", orienta o operador no processo de nivelamentos dos eixos. Após o operador completar a tarefa de acordo com as instruções fornecidas, confirma a ação e avança para o procedimento seguinte

- No caso de uso "Ajuste dos crenques" o operador deve posicionar e fixar os crenques, garantindo as cotas, posicionamentos e inclinações definidos. O operador confirma a ação realizada e avança para o próximo passo.
- No caso de uso "Aperto dos crenques", o operador segue as instruções fornecidas pelo sistema. Ao completar as tarefas, o operador confirma a ação para avançar.
- No último caso de uso, "Programar o Ensaio", o sistema fornece instruções ao operador relativas ao procedimento de ligar a máquina e introduzir toda a informação necessária para iniciar o ensaio.

4. Recursos e Ferramentas

Conforme referido anteriormente, este projeto surge da necessidade de melhorar a eficiência na montagem do banco de ensaios, sendo proposto o uso de óculos de RA. Para viabilizar essa solução, foi crucial efetuar uma análise da literatura existente relativa a esta tecnologia no âmbito industrial. Após essa revisão, e de definir a estrutura base do projeto, mencionada no capítulo anterior, iniciou-se o processo de seleção dos óculos de RA mais adequados às necessidades da empresa, bem como do software que lhe dará suporte.

4.1 *Hardware*

O *hardware* a utilizar deve ter um conjunto de caraterísticas, consideradas como fundamentais para o sucesso deste projeto. Estas caraterísticas são:

- Microfones com cancelamento de ruído: Devido à natureza ruidosa do ambiente de trabalho, este recurso promove as comunicações claras e sem interferências entre o operador e os óculos de RA.
- Disponibilidade de instruções em tempo real: A disponibilidade de orientações imediatas é fundamental para permitir a execução das tarefas sem comprometer a eficiência do operador.
- Capacidade de visualização de documentos: Este requisito permite tirar um maior proveito do uso dos óculos.
- Preço: É necessário ter em consideração o balanço entre custo/ benefícios oferecidos por cada modelo, para assegurar que a solução escolhida seja financeiramente viável.
- Sensores: A inclusão de sensores foi um requisito da empresa, uma vez que são recursos que podem potenciar ainda mais a eficiência e precisão do trabalho dos técnicos.
- Autonomia: A duração da carga da bateria dos óculos de RA é um parâmetro importante, sendo importante escolher modelos com baterias mais duráveis que garantam autonomia durante um ou mais ensaios sem interrupções.
- Controlo por voz e gestos: Recurso indispensável em ambientes de trabalho onde os técnicos precisam de usar as mãos, o modo "mãos livres" maximiza a produtividade dos técnicos.

4.2 Software

Após a análise das caraterísticas do *hardware,* foi considerado fundamental efetuar uma pesquisa abrangente relativamente ao *software* existente. Definiram-se dois critérios para a plataforma: o primeiro refere-se à capacidade do *software* integrar bibliotecas que permitam a projeção de informação em tempo real no campo de visão do operador, facilitando a execução das tarefas de montagem; o segundo critério estabelece que o software deve ser de código aberto, uma vez que o código-fonte é disponibilizado publicamente, permitindo que qualquer pessoa o utilize ou modifique. Esta abordagem é vantajosa devido à sua flexibilidade e à grande comunidade de desenvolvedores que contribuem para constantes melhorias.
A sinergia entre *hardware* e s*oftware* é crucial para garantir a eficiência, desempenho e qualidade de qualquer projeto. As plataformas analisadas que possuem essas características são o Vuforia[1], Reflekt One[2], SCOPE AR[3] e o ARToolkitX[4].

[1] Fonte: https://www.ptc.com/en/products/vuforia (último acesso em 2024-06-12)
[2] Fonte: https://appsource.microsoft.com/en-us/product/web-apps/reflektgmbh.reflekt_one?tab=Overview (último acesso em 2024-06-15)
[3] Fonte: https://us.scopear.com/product (último acesso em 2024-06-15)
[4] Fonte: https://www.ARToolkitX.org/ (último acesso em 2024-06-15)

5. Conclusão

Para a execução deste projeto foi necessário considerar algumas etapas importantes, que se resumem a seguir.
Em primeiro lugar foi efetuada uma abordagem geral sobre as diferentes realidades, nomeadamente, realidade aumenta, realidade virtual e realidade mista. Em seguida, procedeu-se a uma pesquisa sobre a Realidade Aumentada na área da indústria. Com base nesta análise, procedeu-se ao levantamento de requisitos para verificar em que moldes se enquadra a Realidade Aumentada para o ensaio no banco de bicicletas.
Para concluir o estudo, procedeu-se a uma análise relativa a hardware e software, uma vez que são fatores essenciais para garantir a eficiência, desempenho e qualidade do projeto. Esta análise salientou a importância de selecionar as ferramentas adequadas para garantir o sucesso da implementação.
Relativamente a trabalhos futuros, pretende-se criar um protótipo funcional para demonstrar o potencial prático e implementar no sistema algumas melhorias. Essas centram-se na inclusão de linhas delimitadoras na visão do operador, de modo a auxiliar nas distâncias e ângulos exigidos durante o processo de montagem.
Adicionalmente, o sistema deve identificar as ferramentas necessárias para cada etapa do processo e orientar o operador através dos passos específicos para a montagem do quadro. Isso inclui instruções visuais e textuais, sobrepondo informação diretamente no campo de visão do operador, permitindo reduzir erros e aumentar a eficiência do processo.
Os resultados obtidos mostram a viabilidade e os benefícios da aplicação da Realidade Aumentada na indústria, com potencial para aumentar a precisão e eficiência nos processos de montagem.

Referências

Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. IFAC-PapersOnLine, 54(13), 464–471. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492

Gunawan, A., Wiranto, N., & Wu, D. (2023). Application of virtual reality in diverse fields of study in education sector: a systematic literature review. Procedia Computer Science, 227, 948–957. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.602

Li, W., Aibo, X., Wei, M., Zuo, W., & Li, R. (2024). Deep learning-based augmented reality work instruction assistance system for complex manual assembly. Journal of Manufacturing Systems, 73, 307–319. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.02.009

Martinetti, A., Rajabalinejad, M., & Van Dongen, L. (2017). Shaping the Future Maintenance Operations: Reflections on the Adoptions of Augmented Reality Through Problems and Opportunities. Procedia CIRP, 59, 14–17. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.130

Martin-Gutierrez, J., & Martín-Gutierrez, J. (2014). Generic user manual for maintenance of mountain bike brakes based on augmented reality. https://www.researchgate.net/publication/256009552

Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2020). A framework for automatic generation of augmented reality maintenance & repair instructions based on convolutional Neural networks. Procedia CIRP, 93, 977–982. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.130

Neb, A., Brandt, D., Rauhöft, G., Awad, R., Scholz, J., & Bauernhansl, T. (2021). A novel approach to generate augmented reality assembly assistance automatically from CAD models. Procedia CIRP, 104, 68–73. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.012

Rodello, I. A., Sanches, S. R. R., Sementille, A. C., & Brega, J. R. F. (2010). Realidade Misturada: Conceitos, Ferramentas e Aplicações. Revista Brasileira de Computação Aplicada, 2(2), 2–16. https://doi.org/10.5335/rbca.2010.011

Treinen, T., & Kolla, S. S. V. K. (2024). Augmented Reality for Quality Inspection, Assembly and Remote Assistance in Manufacturing. Procedia Computer Science, 232, 533–543. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.053

Zenati, N., Benbelkacem, S., Belhocine, M., & Bellarbi, A. (2013). A new AR interaction for collaborative E-maintenance system. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 46(9), 619–624. https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00476

ID42
Automatização de registos e de contagens na escolha e embalagem de uma cerâmica

Ana Isabel Duarte Maia ([1]), Ana C. V. Vieira ([1, 2, 3, 4])
a2020126714@isec.pt, avieira@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal
([3]) CISE—Electromechatronic Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior, Portugal
([4]) Ci2 - Smart Cities Research Center, Polytechnic Institute of Tomar, Portugal

Resumo

A louça de mesa faz parte do quotidiano de cada um de nós e exige uma elevada qualidade, nomeadamente pelos possíveis impactos na saúde. Em ambiente industrial competitivo, com clientes exigentes e mercados instáveis, é necessário eliminar desperdícios, reduzir custos, diminuir tempos de produção, aumentar a eficiência e garantir uma qualidade acrescida. A unidade fabril onde foi realizado o estudo é produtora de artigos de mesa em grés e pioneira tanto na produção de peças em monocozedura como no processo produtivo, que é totalmente automatizado.
O artigo aborda a implementação de melhorias no processo de escolha e embalagem da empresa de cerâmica em estudo. Visando a otimização da contagem das peças e dos registos de produção, foram analisadas diversas propostas de melhoria, desde alterações de comportamento a investimento em novas tecnologias.
A análise dos resultados obtidos demonstrou que a redução do comprimento dos tapetes das linhas de produção seria uma melhoria inicial viável. Ficou também evidente a importância da mudança de comportamento dos colaboradores e a influência positiva que essa mudança pode ter na resolução do problema em estudo.
Entre as soluções propostas, porque esta evidencia potenciais melhorias de curto prazo, explora-se a possibilidade de otimização do sistema de botão atualmente utilizado para a contagem manual das peças, tornando-o mais eficiente e preciso. Uma outra solução viável é a implementação de um sistema de balança por incremento, que permitiria uma contagem das peças automática, reduzindo o erro humano e aumentando a precisão dos registos da produção.
A versão completa do artigo aborda ainda outras possíveis soluções mais inovadoras para aplicação a longo prazo, como a contagem de unidades por processamento de imagem com câmaras ou contagem a partir de laser.

Palavras-Chave: LEAN, PDCA, Contagem automática, Otimização de linhas de produção, Melhoria contínua.

1. Introdução

A louça de mesa é um elemento essencial do nosso quotidiano, não apenas pela sua funcionalidade e praticidade como pela necessidade de garantir a segurança e saúde dos consumidores. Num contexto de um mercado globalizado e competitivo, a indústria enfrenta o desafio de inovar constantemente e otimizar os seus processos produtivos.
A unidade fabril em estudo, especializada em loiça de mesa em grés, destaca-se por ser pioneira neste setor pela automatização do seu processo produtivo e de monocozedura, reduzindo o tempo de produção e aumentando a eficiência. A fábrica, para além de se concentrar na monocozedura e numa produção automatizada, dedica-se exclusivamente a um só cliente específico, produzindo uma variedade de peças, incluindo pratos rasos, pratos de sopa, pratos de sobremesa, travessas e tigelas, em diversas cores.
O presente artigo foca-se nas possíveis melhorias que poderiam ser implementadas na secção da escolha e embalagem, de forma a otimizar a contagem das peças e os registos da produção. São exploradas as várias linhas de produção da fábrica, as suas características e detalhes, como forma de contextualizar o caso em estudo e perceber as condicionantes a respeitar no processo para encontrar uma solução para o problema em estudo. Serão também apresentadas soluções a curto e longo prazo, visando aumentar a eficiência e qualidade do processo produtivo da unidade fabril analisada.

2. Revisão bibliográfica

2.1. LEAN

O pensamento *Lean*, também conhecido como "pensamento magro", é um conceito de liderança e gestão empresarial utilizado pela primeira vez por *James Womack* e *Daniel Jones* em 1996 (Pinto, 2014).
O pensamento *Lean* sendo uma filosofia de liderança e gestão, procura a eliminação sistemática do desperdício e alinha a melhor sequência de ações a fim de atingir a criação de valor com a realização de atividades de forma continua e eficiente (Farinha, 2018; Haekal, 2022; Hines et al., 2004). O sucesso da filosofia *Lean* é uma prova da validade dos seus princípios e soluções.
Alguns autores sugerem a divisão do pensamento *Lean* em dois níveis distintos, como se demonstra ilustrado na Figura 1. Em primeiro lugar apresenta-se o nível estratégico e de seguida, o nível operacional. Salienta-se que a distinção entre estes dois níveis é fundamental para realizar uma abordagem holística e abrangente da gestão eficiente de produção (Hines et al., 2004).

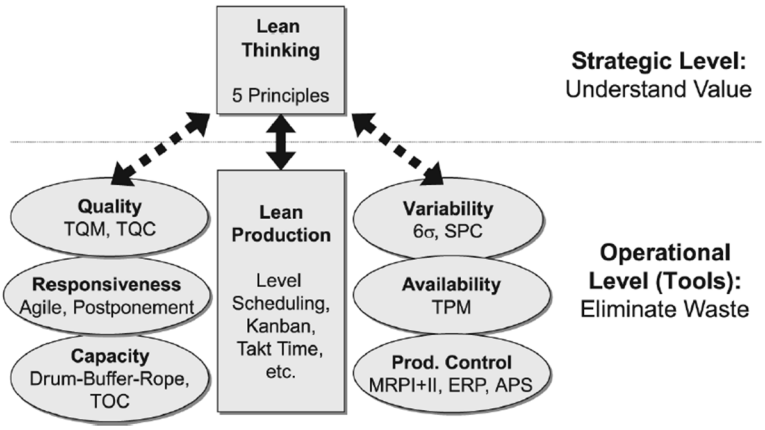


Figura 1 – Diferentes níveis do Lean (Hines et al., 2004)

No nível estratégico, o Lean Thinking abrange toda a organização, desde a direção até aos colaboradores operacionais, com o objetivo de compreender a cadeia de valor, melhorar a eficiência, e eliminar os desperdícios. O Lean Thinking baseia-se nos cinco seguintes princípios fundamentais definidos por Womack e Jones (Farinha, 2018; Haekal, 2022; Hines et al., 2004; Pinto, 2014; Rüttimann & Stöckli, 2016):

- Identificação de valor - Focando-se nos elementos que realmente importam e descartando aqueles que não contribuem para atender as necessidades;
- Mapeamento do fluxo de valor - ao permitir a identificação de todas as etapas e processos necessários para a entrega do produto ou serviço, procura eliminar os desperdícios e identificar as oportunidades de melhoria ao longo do fluxo de valor;
- Criação do fluxo contínuo - procura estabelecer um fluxo de trabalho contínuo, sem interrupções, atrasos ou *stocks*, a fim de que o trabalho flua de forma contínua;
- Implementação do Sistema *Pull* - baseado na produção consoante o que o cliente necessita, nas quantidades e no tempo em que necessita do produto ou serviço. É um sistema que evita o excesso de *stock* e reduz o desperdício;
- Procura pela perfeição - abraça uma procura contínua pela melhoria e pela perfeição de todos os processos desenvolvendo uma cultura de aprendizagem e inovação.

Na segunda metade de Figura 1, revela-se o nível operacional desta filosofia, que inclui ferramentas para eliminar os desperdícios, otimizar o fluxo de valor e melhorar a eficiência na produção. Este nível, mais conhecido como *Lean Production* envolve a aplicação prática no chão de fábrica de técnicas e ferramentas do *Lean Manufacturing*, sendo estas as seguintes (Farinha, 2018; Haekal, 2022; Hines et al., 2004; Pinto, 2014):

- Mapeamento do fluxo de valor (VSM) - a um conjunto de ações que são necessárias para viabilizar o produto. Esta ferramenta deve acompanhar o fluxo de produção de um produto, desde o consumidor até ao fornecedor, e criar uma representação visual detalhada de cada processo no fluxo de materiais e de informação, acrescentando ou não valor.

- Métricas Lean - métricas como Lead Time, Tempo de ciclo, Produtividade, OEE e Nível de stock, medem o desempenho dos processos e identificam as oportunidades de melhoria;
- Kaizen - engloba a definição do problema, a medição, a análise do processo atual, implementação de melhorias e o controlo e avaliação dos resultados;
- Kanban - sistema visual de gestão de stock e produção que utiliza cartões ou sinais visuais para controlar o fluxo de materiais, de produtos e os movimentos de artigos na fábrica, a fim de manter um nível de stock adequado;
- Normalização - concentra-se na força de trabalho e abrange três elementos-chave: o Takt Time, que determina o ritmo de produção necessário para atender às necessidades; a sequência de trabalho precisa em que cada operador executa as tarefas conforme o tempo estabelecido no Takt Time; e o inventário padrão, que engloba os equipamentos necessários para manter o processo a funcionar eficientemente;
- 5S - cada letra "S" refere-se a uma palavra em japonês que representa um senso a ser explorado sequencialmente em cada etapa, numa abordagem kaizen. O primeiro "S" corresponde a Seiri (senso de utilização), e diz respeito à eliminação de elementos desnecessários do local de trabalho, deixando um ambiente limpo, simples e organizado. Seiton (senso de ordenação) refere-se à organização dos elementos que restaram da etapa anterior, devendo garantir-se fácil e rápido acesso. O Seiso (senso de limpeza), que se concentra na limpeza regular do local de trabalho melhorando a qualidade e a segurança no ambiente de trabalho. O quarto "S", Seiketsu (senso de padronização) refere-se à criação de diretrizes para manter aplicadas as primeiras três etapas descritas. Por último, o Shitsuke (senso de disciplina) que está ligado ao desenvolvimento de hábitos e práticas sustentáveis para manter os quatro primeiros "S" a funcionar. Esta etapa requer uma cultura de autodisciplina e responsabilidade para manter o local de trabalho limpo, organizado e eficiente;
- SMED - baseada na redução ou eliminação de tempos de setup ou trocas de ferramentas, máquinas ou mesmo do próprio processo. Conseguida uma redução do tempo de mudanças, são mais facilmente realizadas entregas atempadas. Os níveis de capacidade da linha de produção e do equipamento aumentam, há diminuição dos custos, e torna-se possível responder às necessidades dos clientes com mais flexibilidade;
- TPM - uma abordagem holística que envolve todos os colaboradores da empresa nas atividades de manutenção de equipamentos e na melhoria contínua, com o objetivo primordial de maximizar a eficiência;
- Gestão visual – baseada na utilização de elementos visuais para aprimorar a comunicação e transmitir as informações de uma forma mais sucinta e rápida no interior de uma organização. Tem como objetivo aumentar a comunicação dentro da organização, expor os desperdícios, alinhar as metas de produção, fornecer as soluções para problemas comuns e aumentar a eficácia;
- Poka-yoke - sistema que se baseia na utilização de dispositivos ou mecanismos para evitar e corrigir erros no processo de fabrico. Pode ser utilizado com base no método de controlo em que a linha de produção para de modo que o problema seja resolvido imediatamente ou pelo método de aviso que faz soar um alarme ou acende uma luz para alertar o colaborador da ocorrência de uma falha.

É importante ressaltar que o *Lean Manufacturing*, que inclui todas estas ferramentas mencionadas, tem as suas raízes no Sistema Toyota de Produção, desenvolvido pela Toyota. O *Toyota Production System* (TPS), criado por *Taiichi Ohno* nos anos quarenta e mais tarde desenvolvido por *Shigeo Shingo* foi o sistema promotor de uma cultura de trabalho em equipa e colaboração (Farinha, 2011; Pinto, 2014; Santos, 2008).

O TPS, fundamentado no respeito pelas pessoas, é promotor de um trabalho em equipa, incentivando as mesmas a partilhar conhecimentos, a trocar informações e a colaborar em conjunto na resolução de problemas (Medeiros et al., 2020; Pinto, 2014). Tem como pilares dois conceitos igualmente importantes, o *Jidoka* e o *Just-in-Time* (JIT) (Medeiros et al., 2020; Pinto, 2009, 2014).

2.2. Ciclo PDCA

O ciclo *Plan*, *Do*, *Check*, *Act* (PDCA), apresentado inicialmente pelo físico, engenheiro e estatístico norte americano *Walter Shewhart*, nos anos trinta, apenas a partir dos anos cinquenta começou a ser popularizado, por *W. E. Deming* (Farinha, 2011; Pinto, 2014; Santos, 2008). Fundamental para dar suporte à melhoria contínua, apoiar a gestão e a tomada de decisões numa organização, esta ferramenta apresenta uma estrutura clara e compreensível, tornando bastante acessível a sua aplicação em todas as organizações que adotarem o método.

O ciclo PDCA fornece uma estrutura metodológica para planear ações de aprimoramento, verificar os resultados obtidos e saber agir de forma eficaz e rápida perante a necessidade de mudança ou melhoria. Composta por quatro etapas interligadas (*Plan*, *Do*, *Check*, *Act*), apresenta uma elevada simplicidade pelo que a sua aplicação não exige nenhum grau académico ou conhecimento especializado.

Na Figura 2 podemos observar a representação do ciclo PDCA, com cada uma das quatro etapas a ocupar um quarto do círculo, as quais se detalham de seguida (Farinha, 2011, 2018; Ghosh et al., 2023; Pinto, 2014; Santos, 2008).
Na etapa "Planeamento" (*Plan*) são estabelecidos os objetivos e as metas a alcançar, definindo um plano de ação detalhado, identificando os processos chave e as melhores estratégias para chegar aos resultados desejados. Um planeamento adequado é a base para o sucesso do ciclo.
Na fase do "fazer" (*Do*), são executadas as tarefas que foram previstas na fase de planeamento, pondo em prática todas as ações definidas. Nesta etapa, é também importante recolher os dados relevantes que serão essenciais para uma análise posterior e para uma avaliação do ponto de situação e dos resultados alcançados.
Após a etapa do "fazer", passamos para a etapa da verificação (*Check*). Os resultados serão verificados e comparados com as metas estabelecidas no planeamento, a fim de saber se estas foram alcançadas. Caso haja desvios, é necessário analisar as causas que levaram ao mesmo. Esta etapa permite uma avaliação precisa do desempenho dos processos.
Por fim, na etapa da ação (*Act*) ocorre a ação corretiva. Com base na análise dos resultados obtidos na etapa anterior, são tomadas ações para corrigir os problemas identificados, eliminar as suas causas fundamentais e ajustar o plano se necessário. É importante implementar melhorias eficazes e documentar as medidas adotadas. Além disso, esta fase abrange a identificação de oportunidades de aprimoramento e a implementação de alterações ao plano com vista a evitar a repetição de problemas no futuro.

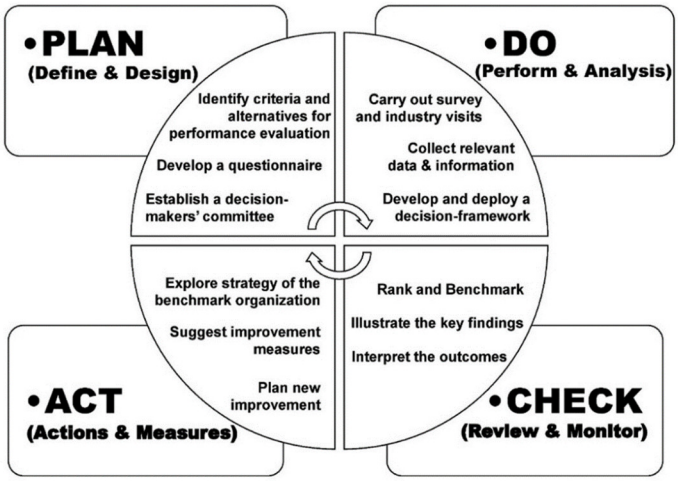


Figura 2 – Esquema do ciclo PDCA (Ghosh et al., 2023)

2.3. 5W

Como bem sabemos, há uma tendência para resolver um problema do momento apenas com as questões imediatamente aparentes. Uma solução rápida, "*quick fix solution*" poderá resultar até um certo ponto em que a probabilidade de recorrência é alta visto que só foram abordados os efeitos superficiais (Pinto, 2014). Por exemplo, um carro que consome mais combustível do que o esperado. A primeira solução será encher o depósito sempre que se esvaziar. Porém, a busca da causa raiz vai permitir corrigir a falha e diminuir a frequência com que se tem de encher o depósito. Deve ser feita uma investigação para encontrar o motivo pelo qual o carro está a consumir demasiado combustível. Pode ser verificada a eficiência do motor, saber se o filtro de ar está obstruído ou os pneus mal calibrados, se há problemas no sistema de injeção de combustível, saber se a condução é uma condução agressiva ou passiva, analisar o sistema de escape, perceber as condições da estrada, entre outras inúmeras possíveis causas do problema.

Encontrada a causa, será mais eficaz aplicar uma solução consistente, reduzindo a probabilidade de recorrência e promovendo melhorias sustentáveis. Desta forma, surge o "5W", uma ferramenta usada no contexto da filosofia de melhoria contínua. Desempenhando um papel fundamental na identificação da causa-raiz de um problema, este método ajuda a resolver os problemas encontrados de uma forma efetiva e exige que os gestores e líderes investiguem minuciosamente e compreendam as verdadeiras causas reais subjacentes (Pinto, 2014).

Cada "W" indica uma pergunta: "*What*"/O quê, "*Why*"/Porquê, "*Who*"/Quem, "*When*"/Quando e "*Where*"/Onde.

Analisando com mais detalhe cada fase deste método, primeiramente, o "*What*", define de forma clara e objetiva a descrição do que se está a concretizar, evitando ambiguidade ou confusão. De seguida, o "*Why*" procura entender a justificação e os motivos que se encontram por detrás da execução, garantindo que todos tenham uma compreensão clara dos benefícios e objetivos envolvidos. Por sua vez, o terceiro "W", o "*Who*", identifica os responsáveis e envolvidos no projeto e atribui papeis e responsabilidades claras a cada um. Ao abordar o "*When*" são definidos prazos para cada etapa, a fim de garantir que as atividades sejam concluídas a tempo. Em último lugar, o "*Where*" torna-se relevante quando a localização física é pertinente, seja por envolver diferentes equipas ou diferentes locais.

2.4. Sistemas de visão para processos industriais

Nos dias de hoje, a indústria tem beneficiado cada vez mais com a evolução da ciência da computação.
O desenvolvimento de algoritmos e técnicas capazes de manipular imagens digitais, tem-se demonstrado essencial para a aplicação de sistemas de visão e processamento de imagem nos processos produtivos. Esta tecnologia revolucionária tem contribuído para a automatização e o aprimoramento de várias etapas industriais, proporcionando maior eficiência, precisão, qualidade dos produtos e produtividade (Baygin et al., 2018; Li et al., 2023; Pandit et al., 2015; Song et al., 2019).

Os sistemas de visão, baseados em algoritmos avançados, são capazes de desempenhar tarefas complexas como inspeção e identificação de defeitos, medição de peças e contabilização de unidades. Estas tarefas, que anteriormente exigiam mão de obra humana intensiva e eram suscetíveis a erros, podem agora ser realizadas de forma automatizada e precisa (Baygin et al., 2018; Kanjanasurat et al., 2021).
A Figura 3, exemplifica uma aplicação geral do sistema de visão composto por um tapete transportador, três câmaras, um computador e um interruptor.

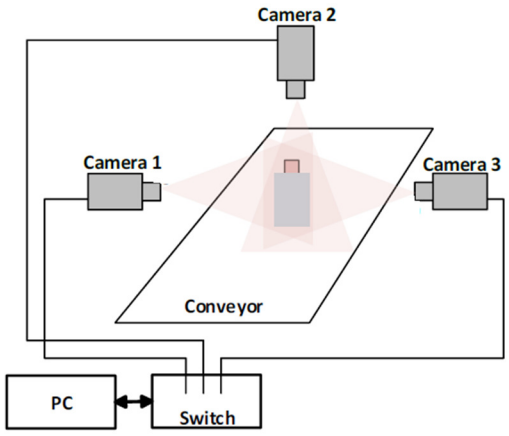


Figura 3 – Sistema geral de visão (Baygin et al., 2018).

As câmaras são utilizadas para capturar imagens em diferentes ângulos dos produtos que passam pelo tapete; o computador processa as imagens, realiza a contagem das unidades, mede as dimensões e deteta os defeitos; o interruptor é usado para controlar o fluxo de produtos que passam no tapete. Quando um produto passa pelo interruptor, a câmara captura uma imagem do produto e envia-a para o computador para o processamento. Se o produto for defeituoso ou não atender a determinadas especificações, o interruptor pode ser usado para desviar o produto para uma área de rejeição (Baygin et al., 2018).

As ferramentas de processamento de imagem têm como objetivo desenvolver algoritmos capazes de detetar e contar objetos em imagens digitais, aprimorando a qualidade das imagens, extraindo informações relevantes e convertendo-as em dados utilizáveis em diversas aplicações. É possível aplicar esta metodologia em diversos campos como a medicina, ciências farmacêuticas, segurança, automação e indústrias de diferentes setores (Baygin et al., 2018; Pandit et al., 2015).

A contagem de unidades é apenas uma das várias formas de utilização dessa tecnologia avançada. Atualmente, muitas indústrias já adotaram sistemas de contagem por processamento de imagem, abrangendo desde a contagem de ovos de bichos-da-seda (Pandit et al., 2015) e células sanguíneas até à contagem automática de peixes, ovos de galinha (Kanjanasurat et al., 2021), veículos em autoestradas (Song et al., 2019) e garrafas de refrigerantes em fábricas (Baygin et al., 2018).

Em conclusão, os sistemas de visão para processos industriais representam uma verdadeira revolução tecnológica, impulsionando a automação, a qualidade e a eficiência na indústria moderna, abrindo caminho para avanços e aplicações cada vez mais promissoras.

3. Caracterização geral do problema inicialmente identificado

A empresa cerâmica em questão, é uma fábrica com um processo produtivo totalmente automatizado, à exceção da secção da escolha e embalagem que atualmente depende da intervenção humana para avaliar a qualidade do produto e fazer o seu registo. Nesta etapa, a contabilização dos pratos, sejam eles de primeira escolha, segunda escolha (com defeito aceitável para segunda venda) ou refugo (com defeito incaceitável para venda), é realizada manualmente pelos colaboradores da linha. Nesta fase, os colaboradores registam os dados manualmente, que posteriormente são transferidos para uma folha A4. Um elemento da melhoria contínua recolhe as folhas de todas as linhas de produção com os registos, organiza os dados num ficheiro *Excel*, e, finalmente, transfere-os para o *software* SAP.

Deste modo, é possível encontrar alguns desafios associados ao processo atual da contabilização dos pratos. A dependência de registos manuais, para além de aumentar a possível percentagem de erro humano, possibilita as imprecisões dos dados, pode gerar lapsos na contagem e cria falta de controlo sobre a qualidade. Além disso, é necessário, por vezes, interromper a linha de produção para efetuar cálculos do registo do número de peças escolhidas, e ainda para escrever os dados no papel. Isto origina desperdício de tempo, impactando negativamente a eficiência geral da produção.
Daqui, nasce a necessidade de desenvolver hipóteses de solução que possam combater o problema dos registos em papel. Uma vez que a situação atual contribui para gerar uma grande margem de erro, potenciando o desconhecimento da produção real, foi necessário agir para combater esta falha.

3.1. Análise do processo de escolha de unidades

Em cada linha de produção, está implementado um sistema com três botões para identificação de primeira escolha, segunda escolha e refugo. Apesar deste sistema de botões já estar implementado em todas as linhas, não é utilizado no seu todo. Os três botões apresentados, estão ligados a um sistema de registo automático e foram programados da seguinte forma: se o primeiro botão da primeira escolha for pressionado, o sistema assume a contagem de 24 unidades; de outra forma, se o colaborador clicar no botão de segunda escolha, o sistema conta 20 unidades; já o registo dos pratos de refugo não é por pilha, mas sim por unidades, ou seja, se o botão de refugo for pressionado, o sistema assume o registo de 1 unidade.

Para efetuar o registo das unidades, de uma forma mais explícita, primeiramente, os colaboradores da linha recolhem o prato do tapete, vindo dos processos anteriores (polimento e carimbo). De seguida, e em poucos segundos, o colaborador pega no prato, observa-o e avalia a existência de defeitos. Caso sejam apurados defeitos, determina em que categoria o prato se insere. Na pior das hipóteses, se a peça escolhida for de refugo, vai sendo construída uma pilha de 40 unidades com a finalidade de ser analisada no laboratório de controlo da qualidade. As restantes peças de refugo, quando a pilha de 40 pratos estiver construída, são colocadas no caixote de material contaminado para serem descartadas.

Havendo alguns defeitos não tão significativos, mas ao mesmo tempo visíveis, as peças serão de segunda escolha. Para as unidades de segunda escolha, o colaborador constrói pilhas de vinte pratos e vai colocando as mesmas numa palete de madeira no chão, junto ao seu posto de trabalho.
Por fim, o que se espera ser a maioria das peças que chegam à zona da escolha e embalagem, as peças identificadas como peças de primeira escolha. Neste caso, é feita uma pilha de 24 pratos para enviar para o robô "Kuka" que irá construir a palete completa. É importante realçar que a "Kuka" presentemente está programada para recolher apenas alguns tipos de produtos, neste caso, pratos rasos, pratos de sopa e os pratos de sobremesa. Em contrapartida, as tigelas e as travessas não vão para a "Kuka", pelo que são colocadas numa palete de madeira feita no chão ao lado do colaborador, assim como as peças de segunda escolha.

Após estar completa a pilha de 24 pratos de primeira escolha, que podem ir para a "Kuka", o colaborador segue para os próximos passos, começando por colocar a pilha montada no tapete. Quando a pilha de pratos encontra-se no tapete, o colaborador tendencialmente executa o processo de duas maneiras distintas.
Na primeira opção de execução, após colocar a pilha de 24 pratos no tapete, o colaborador clica no primeiro botão, correspondente ao botão de primeira escolha. O tapete começa a andar, levando os pratos para o robô presente no fim do mesmo.

Na segunda opção, após colocar a pilha de 24 peças no tapete, o colaborador monta mais uma pilha e coloca-a no mesmo tapete, ao lado da pilha anteriormente construída. Pode construir ainda outra pilha e colocá-la no tapete. Após estarem, por exemplo, três pilhas no tapete transportador, o colaborador clica uma vez no botão de primeira escolha. Ao clicar no botão, este fará com que o tapete se movimente, levando várias pilhas até à "Kuka" para as paletes serem equipadas.

3.2. Causa e possíveis hipóteses para a solução do problema

Para uma melhor análise do problema, aplicou-se o método 5W, com base no qual se elaborou um esquema representativo, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela esquematizada dos 5W

WHAT	• Implementar uma solução para resolver o problema do uso do papel nos registos da contagem de pratos.
WHY	• Elevada margem de erro; • Depende de fatores humanos; • Imprecisões de dados; • Desperdício de tempo nas paragens da linha; • Desperdício de tempo do apontador ao deslocar-se várias vezes durante o turno às 8 linhas.
WHERE	• Secção de escolha nas linhas de produção.
WHEN	• Nos dias de hoje.
WHO	• Os colaboradores das linhas; • O apontador; • Responsável da produção; • Responsável da manutenção.

Analisadas as causas, foi possível propor hipóteses de soluções diversas para o problema da contabilização manual de unidades, e testar as mesmas.
Dando uso ao material existente na fábrica, uma das hipóteses para resolver o problema será o correto uso do botão presente no posto das linhas de escolha. Foram efetuados testes e uma análise detalhada dos resultados obtidos.

4. Botão (hipótese nº1)

Apesar da empresa ter implementado, nas oito linhas da escolha, um sistema automático de botões , nos dias que correm, não é utilizado no seu todo. O botão é utilizado apenas para primeira escolha, estando associado ao movimento do tapete, ao invés do registo automático do número de peças, que é capaz de executar.
Os colaboradores, se fizerem uma pilha de 24 pratos, colocarem-na no tapete e clicarem no botão (que também fará o tapete andar até ao robô), o registo de 24 pratos vai automaticamente para a base de dados. Ao mesmo tempo, se um colaborador colocar mais do que uma pilha no tapete, e só clicar no botão depois de juntar, pelo menos duas pilhas, os registos já vão estar diferentes do que era suposto. Vão estar registadas 24 unidades em vez de 48, que corresponde ao número real de peças escolhidas.
Com o processo mentalmente automatizado de escolher os pratos, colocar a pilha de pratos de primeira escolha no tapete e clicar no botão, o colaborador associa o botão ao movimento do tapete. Desta forma, não tem presente outras funcionalidades do botão como o registo automático das unidades escolhidas.
O botão, sendo um sistema já presente na fábrica sem necessidade de investimentos significativos de material ou da própria instalação, é uma hipótese de solução ao problema encontrado desde que se ajustem os procedimentos da sua utilização.

4.1. Metodologia para a resolução

Neste relatório, será apresentada uma elaboração do ciclo PDCA aplicado durante a realização do projeto de estágio. O ciclo PDCA é uma metodologia reconhecida para a melhoria contínua e resolução de problemas. Esta ferramenta é um processo cíclico que permite identificar oportunidades de melhoria, implementar ações corretivas e obter resultados mais eficazes.
O ciclo PDCA, tal como qualquer outro ciclo, não precisa necessariamente de começar na etapa de planeamento e terminar na etapa de verificação. No caso em estudo, iniciou-se o ciclo PDCA na etapa de ação (Do) seguindo a ordem normal do ciclo. Chegada à segunda volta, na etapa de ação (Act), finalizou-se o ciclo na segunda fase de verificação (Check), como demonstra a Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela do ciclo PDCA elaborado

DO	• Organizar um sistema de registo; • Recolher os dados dos registos em papel; • Recolher os dados dos registos do botão; • Elaborar uma folha de cálculo em Excel para cada tipo de registo; • Elaborar uma folha de cálculo em Excel com todos os dados organizados numa tabela dinâmica; • Dotar a folha de cálculo em Excel de capacidade para consulta de dados com base em critérios específicos.
CHECK	• Avaliar os resultados dos registos em papel e do botão (automático); • Avaliar os desvios entre o registo manual e o registo automático; • Identificar as causas desses desvios e os fatores de variação; • Verificar se o sistema funciona de acordo com as metas estabelecidas; • Verificar se o sistema fornece informações úteis e relevantes para a tomada de decisão.
ACT	• Escolher três linhas de produção; • Pedir aos colaboradores das três linhas para clicarem no botão a cada pilha de pratos de primeira escolha construída; • Explicar aos colaboradores a importância do correto uso do botão e as vantagens que os bons resultados podem vir a trazer.
PLAN	• Planear a estrutura da folha de cálculo para receber as novas informações; • Estabelecer critérios para a recolha dos novos dados depois do pedido aos colaboradores; • Elaborar uma folha de cálculo flexível o suficiente para acomodar futuras necessidades de recolhas de dados, para garantir um rápido acesso aos dados durante a análise; • Estabelecer os dias de teste e o número de vezes necessárias para ir as linhas.
DO	• Executar o plano; • Oferecer suporte adicional aos colaboradores das linhas de escolha garantindo o correto uso do botão; • Acompanhar e motivar continuamente a alteração do procedimento; • Recolher os dados obtidos; • Colocar os novos dados na folha cálculo Excel.
CHECK	• Recolher o feedback dos colaboradores sobre os benefícios e as dificuldades encontradas; • Verificar se a formação teve algum impacto positivo; • Comparar os resultados com as expectativas iniciais; • Encontrar a causa da continuidade do desvio entre os registos, se for o caso.

O ciclo PDCA é um processo contínuo. Os resultados obtidos até ao momento serão fundamentais para elaborar uma análise mais detalhada que possa impulsionar futuras melhorias e aperfeiçoamentos.
Para começar a investigar os resultados da implementação do método de resolução proposto, foi então pedido à organização dois tipos de registos de contabilização das unidades escolhidas. Foram pedidos os registos em papel, feitos manualmente por cada colaborador da linha (como até agora) e também os registos do botão das oito linhas. Com todos os dados organizados em tabelas Excel, notou-se uma grande diferença entre os registos do método manual e do método automático como se pode observar num exemplo ilustrado no gráfico da Figura 4. Note-se que os dados abaixo demonstrados correspondem ao mês de fevereiro (mês esse que o estudo em si não incidiu em dia algum).

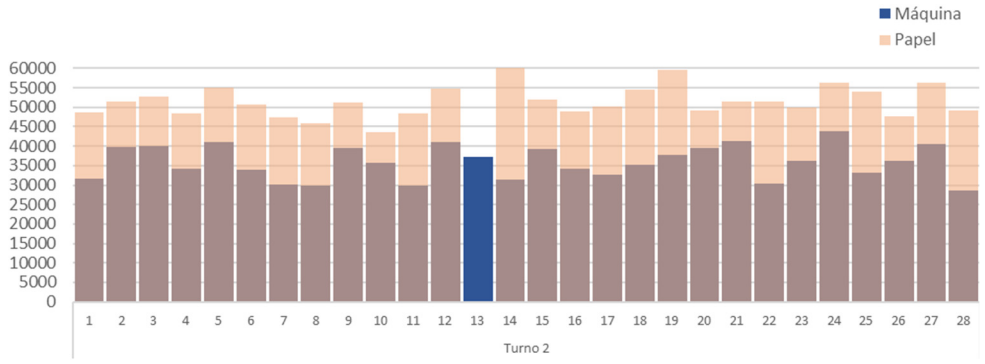


Figura 4 – Diferenças do registo entre a máquina e o papel no mês de fevereiro, nas 8 linhas

O gráfico representa sobrepostos um no outro, o número de pratos registados em papel, a cor-de-rosa, e a azul o número de pratos contabilizados pelo botão, nas 8 linhas de produção da fábrica. O eixo das ordenadas refere-se o número de peças e o eixo das abcissas representa os dias do mês de fevereiro.
É importante realçar o dia 13, onde se vê apenas o registo do botão. A contabilização em papel dos pratos escolhidos nesse dia não foi registada. Isto pode acontecer quando algum apontador da melhoria contínua falta e os papéis das linhas não são recolhidos. Este acontecimento, sendo mais uma desvantagem no uso da contagem em papel, provoca uma perda do controlo da produção, visto que atualmente dependem a 100% deste método de registo.

Com a análise do gráfico é possível retirar que há uma grande diferença entre os registos em papel do número de peças escolhidas relativamente ao registo na máquina.
Importa analisar os motivos de diferenças tão acentuadas: Porque é que haverá tanta diferença dos registos do papel em relação às máquinas? Note-se que os dados utilizados para investigar as hipóteses, são os dados do mês de fevereiro.

Possíveis hipóteses:

- Dependerá do tipo de prato a ser escolhido?
- Dependerá do turno?
- Dependerá da linha e do que cada uma produz?
- Dependerá do tipo de tapete em cada linha?

Dependerá do tipo de prato a ser escolhido?
Com base numa análise detalhada foi possível concluir que existe uma diferença um pouco mais acentuada em alguns tipos de pratos. Neste caso, as tigelas e as travessas produzidas destacam-se por serem as peças com uma diferença entre os dois tipos de registo (manual e automático), muito elevada comparativamente às restantes peças. O acontecimento descrito pode ser explicado devido a duas causas aliadas. Em primeiro lugar, as peças tigela e travessa, não vão para o robô no final da linha. Como foi referido anteriormente, o robô "Kuka" não está programado para pegar em peças com a forma retangular das travessas nem com a forma e tamanho das tigelas. Deste modo, as paletes destes dois artigos são construídas manualmente numa palete de madeira no chão. Aliada a esta causa, está a relação que o colaborador da linha tendencialmente faz entre clicar no botão de primeira escolha e o movimento do tapete. Visto que não é necessário colocar as peças no tapete para irem para a "Kuka", não é ativado o botão em cada pilha contruída de tigelas ou travessas.

As diferenças dependerão do turno?
Após serem estudadas as diferenças entre os registos em papel e da máquina ao longo dos três turnos, poder-se-á constatar que não existe uma diferença significativa entre os três turnos. Assim, conclui-se que os elevados aumentos encontrados do registo do papel em relação aos registos da máquina, não dependem do turno.

As diferenças constatadas dependerão da linha e do que cada uma produz?
Para alcançar uma resposta a esta hipótese, primeiramente foi verificada a diferença entre os dois tipos de registo em todas as linhas, verificando-se uma diferença mais acentuada nas linhas 6 e 7. De seguida procurou-se saber o que é que cada linha produzia a fim de compreender a razão desta diferença.

Na linha 6 são produzidas tigelas, com uma maioria de 80,96% da produção nesta linha; pratos de sobremesa, a representar 18,11% da produção na linha; travessas retangulares, com uma minoria de 0,93%.
Por outro lado, na linha 7, aproximadamente metade da produção da linha corresponde a pratos de sobremesa com uma percentagem de 52,81%; travessas retangulares com um valor também significativo de 46,37% e uma monoria de pratos rasos com 0,82% da produção total na linha.

Ambas as linhas produzem pelo menos um tipo de peça que não irá para o robô "Kuka".
Mais uma vez poder-se-á relacionar a diferença entre os dois métodos de registos diferentes, com as paletes feitas no chão ou no robô "Kuka". Quando são construídas paletes no chão, o colaborador, ao associar mentalmente o botão ao movimento do tapete, não clica no mesmo.

Por outro lado, com valores mais positivos de diferenças entre os dois tipos de registo, encontra-se a linha 8. Esta linha está destinada para apenas receber pratos rasos. Esta informação poderá mais uma vez estar relacionada com a associação do botão ao movimento do tapete, mas de um ponto de vista diferente. O prato raso, sendo um prato de maior diâmetro, ocupa uma área do tapete maior. Por conseguinte, haverá uma menor tendência de o colaborador colocar várias pilhas de 24 pratos seguidas no tapete, por razões ergonómicas. Assim, na maioria das vezes, é colocada apenas uma pilha de 24 unidades do prato raso e enviada para a "Kuka" recolher e colocar na palete. A dimensão do prato contraria o comportamento de colocar várias pilhas no tapete e clicar uma vez no botão contabilizando apenas uma pilha.

Dependerá do tipo de tapete de cada linha?
As oito linhas de produção da fábrica são diferentes umas das outras em todo o processo, desde as prensas à secção da escolha e embalagem. Na secção em estudo neste trabalho (escolha e embalagem) os tapetes das linhas diferem, desde o ponto em que se encontra o colaborador, até ao robô "Kuka", seja pela forma e posicionamento do tapete, seja pelo seu comprimento.

Na Tabela 3estão representadas as quantidades de cada tipo de prato produzido em cada uma das oito linhas, assim como a forma do tapete e a percentagem de aumento dos registos em papel em relação ao botão. Na coluna de "Aumento", foi calculada a percentagem de aumento do número de peças registadas no papel em relação às unidades registas com o uso do botão. Quanto menos for a percentagem de aumento, melhor, significando que a diferença é menor. O ideal seria uma percentagem de 0%, o que indicaria que os valores dos registos do papel seriam iguais aos registos da máquina.

Tabela 3 - Diferença e aumento dos registos, tipo de tapete em cada linha

LINHAS	PEÇAS	QUANTIDADE	TAPETE	AUMENTO
1	Prato de sobremesa	95,4%	curto e reto	12,90%
	Tigela	4,6%		
2	Prato de sopa	100,00%	comprido e reto	20,30%
3	Prato raso	31,95%	Comprido e em L	17,50%
	Prato de sopa	63,04%		
	Prato de sobremesa	5,01%		
4	Prato raso	18,53%	comprido e reto	14,40%
	Prato de sopa	42,42%		
	Prato de sobremesa	39,04%		
5	Prato raso	81,98%	comprido e reto	19,10%
	Prato de sobremesa	18,02%		
6	Tigela	80,96%	curto e reto	513,10%
	Prato de sobremesa	18,11%		
	Travessa retangular	0,93%		
7	Prato raso	0,82%	curto e reto	109,0%
	Prato de sobremesa	52,81%		
	Travessa retangular	46,37%		
8	Prato raso	100,0%	curto e reto	10,1%

Com base na Tabela 3, poder-se-á denotar os elevados valores de aumento nas linhas 6 e 7 e o menor valor presente na linha 8.
A linha 8, que produz apenas pratos rasos, tem um tapete em linha reta e curto. Um tapete curto tem uma área menor que um tapete comprido, o que consequentemente dificulta ao colaborador colocar mais do que uma pilha de pratos no tapete.

Deixando de lado as linhas atípicas 6 e 7, irá concentrar-se a atenção para as outras seis linhas.
A próxima linha com maior percentagem de aumento é a linha 2 com 20,30%. A linha 2, que produziu no mês de fevereiro apenas pratos de sopa, tem um tapete comprido e reto. Um tapete comprido oferece uma maior área para colocar mais do que uma pilha de pratos escolhidos, podendo esta ser uma razão para explicar a elevada diferença.
De seguida, a linha 5, que produz na sua maioria pratos rasos, apresenta um valor de aumento elevado, com uma percentagem de 19,10%. Apesar do prato raso ocupar uma área maior, tendo a linha 5 um tapete comprido, aumenta a probabilidade de o colaborador colocar mais do que uma pilha no tapete, e clicar uma única vez no botão.

Atendendo agora a um menor valor de aumento, tem-se a linha 1 com uma percentagem de 12,90%. A linha 1 no mês de fevereiro produziu na sua maioria pratos de sobremesa e algumas tigelas. Com uma tendência para ter um resultado de aumento elevado, visto que é um prato com uma área menor do que a maioria das outras peças, obteve-se uma diferença menor do que nas outras linhas. Isto poderá estar ligado ao facto de o tapete ser curto e não haver tanto espaço para colocar várias pilhas.
Investigadas as várias hipóteses que explicariam por que razão há tanta diferença entre os registos manuais da contabilização dos pratos e os registos apresentados pela máquina, podem ser concluídas as seguintes ideias: os registos dependem das linhas e do que cada linha produz; depende também do tipo de prato que se escolhe; e pode ainda depender do tipo e tamanho do tapete por onde irá passar a pilha de pratos até chegar à palete.

4.2. Testes efetuados

Apesar dos motivos técnicos mencionados poderem justificar a elevada diferença entre os registos manuais e automáticos para a contabilização dos pratos escolhidos, a falta de formação para clicar no botão por cada pilha enviada para o robô é evidente. A maioria dos colaboradores não clica no botão da maneira correta. Ou porque não tem o conhecimento que o botão contabiliza o número de pratos automaticamente, ou porque não tem essa tarefa como prioritária e deixa passar. Apenas os colaboradores presentes na fábrica que deram mais anos à casa, estão familiarizados com o processo de contabilização mais automático que outrora existira. Por esta razão, entendeu-se que seria adequado fazer um teste e avaliar os resultados obtidos.
Em primeiro lugar escolheram-se três linhas de trabalho, as quais estão relacionadas com a elevada diferença entre os registos automáticos e em papel. Em segundo lugar, escolheram-se alguns dias para se realizarem os testes, contando sempre com o segundo turno, das 8h às 16h.
O teste consistiu em investir tempo a falar com os colaboradores das linhas para lhes explicar como funciona o sistema de botões já instalado, (visto que era desconhecido para a maioria), e para explicar a sua correta utilização, (pelo menos do primeiro botão correspondente às peças de primeira escolha).
Foi assim pedido a cada colaborador presente nas linhas em análise para terem o cuidado de clicar sempre no primeiro botão para uma, e uma só pilha de pratos de primeira escolha. Tentou deixar-se claro que, ao colocar duas ou mais pilhas no tapete, e clicando apenas uma vez no botão, a contagem automática não iria resultar, uma vez que esse procedimento estava errado.

4.3. Análise dos resultados obtidos

O objetivo que se espera atingir com a alteração do procedimento dos colaboradores é uma diminuição na diferença entre os registos manuais e os registos automáticos nos dias escolhidos.
Para se chegar a uma conclusão, é necessário analisar os dados recolhidos.
Desta forma observe-se a Tabela 4, representativa dos dias em que por um lado foram feitos os pedidos e realizados os testes e por outro lado, os restantes dias de maio.

Tabela 4 - Comparação dos aumentos percentuais de maio com e sem aviso

LINHAS/MAIO	COM AVISO	SEM AVISO
Linha 2	9,1%	23,1%
Linha 4	17,0%	28,7%
Linha 5	18,1%	88,3%

De um modo geral, em todas as linhas houve uma diminuição da percentagem de aumento nos dias com aviso, destacando-se a linha 5 com uma diminuição mais significativa.
A primeira linha de análise, a linha 2, apresenta uma diferença de 14% dos dias com aviso relativamente aos dias sem aviso. Nos dias com aviso os colaboradores deram melhor uso ao botão do que nos dias sem aviso.
Na linha 4, com uma média de 17,0% de aumento nos dias de teste e 28,7% nos dias sem teste, houve uma diminuição de 11,7% nos dias de aviso. Comparando os dias que foi pedido aos colaboradores para clicarem corretamente no botão com os dias em que não foi pedido nada, os dias com aviso apresentam resultados mais positivos.

Já na linha 5, houve uma elevada diferença de 70,2% entre os dias em que foi pedido a cada colaborador que trabalha na linha para utilizar corretamente o botão e os dias em que não foi pedido nada aos colaboradores em relação a esta tarefa. Pode observar-se que, nos dias de aviso, os resultados melhoraram muito, havendo uma menor diferença entre os registos do papel e os registos do botão.

4.4. Principais conclusões

Analisados os resultados obtidos anteriormente, é possível retirar as devidas conclusões. Qualquer conclusão acerca dos resultados obtidos de um teste efetuado é feita com vista na otimização de processos, na melhoria contínua, na identificação de tendências ou novos problemas que surjam, e como principal fator, na procura de uma solução fiável ao problema encontrado.
Desta forma, poder-se-á concluir que: há fatores incontroláveis que afetam o sucesso dos resultados; investir na formação dos colaboradores é essencial.

Tal como na vida da maioria das pessoas, quanto mais formação for adquirida, seja qual for o ramo em que se trabalhe, melhor. O investimento em conhecimento e saber é sempre uma boa decisão. No caso em estudo, com um tipo de formação diferente, mais concretamente, um pedido aos colaboradores e uma breve explicação acerca do funcionamento do sistema de botões, foi possível obter melhores resultados como era previsto. Nos dias de teste, em que foi pedido aos colaboradores das linhas para clicarem no botão de primeira escolha por cada pilha contruída, os resultados obtidos das diferenças entre os dois tipos de registo diminuíram. Assim, é possível concluir que o reforço na formação influencia positivamente o bom funcionamento e a eficiência das atividades realizadas. Em suma, apesar dos resultados do botão e do papel não serem iguais ou equiparáveis como estavam previstos ser, e dadas as circunstâncias incontroláveis, poder-se-á concluir que o objetivo foi em parte atingido, havendo uma melhoria nos dias testados.

5. Outras propostas

Como ainda não se atingiu uma solução ótima, novas propostas terão de ser apresentadas. Testou-se apenas uma hipótese de solução que contribuirá para o estudo da solução ótima e que mostrou trazer possíveis melhorias.
Neste subcapítulo serão apresentadas novas propostas para a contabilização automática dos registos da secção da escolha: uma possível melhoria ao sistema de botões apresentado; uma hipótese de uma balança por incremento; um sistema de processamento de imagem com câmaras; e contagem a partir de um laser.
Todas as opções serão apenas propostas, não tendo sido possível implementar nenhuma delas nem testar a sua eficiência.

5.1. Melhoria do próprio sistema de botão (hipótese nº1)

Analisados os resultados obtidos no sistema de botões, após a alteração do comportamento dos colaboradores, identificaram-se fatores técnicos que influenciavam os resultados, nomeadamente a dimensão e a configuração dos tapetes. Uma alteração do layout conjugada com a alteração do comportamento dos colaboradores, parece estar associada a resultados mais positivos.
Como foi apresentado anteriormente, o tipo de tapete influencia a disponibilidade do colaborador para clicar no botão de primeira escolha, sempre que uma pilha está completa, tal como lhe foi solicitado.
Tapetes mais curtos, apresentam uma menor área, logo, menos espaço para colocar várias pilhas de pratos em simultâneo. Assim, quando o espaço de que o colaborador dispõe para colocar a pilha de pratos é menor (por exemplo, 1 metro de comprimento no máximo), há uma menor tendência para acumular várias pilhas no tapete.
Com base nos dados analisados, reduzir o comprimento dos tapetes, seria uma pequena melhoria no sentido de atingir uma solução mais aproximada da solução ideal.

5.2. Balança por incremento (hipótese nº2)

Há uns anos, a fábrica em questão testou a utilização de balanças para a contagem de peças na secção da escolha, especificamente as linhas 2 e 3, as quais estavam equipadas com uma balança e um pequeno monitor à frente dos colaboradores. O ecrã exibia o número de pratos empilhados em cima da balança, com base na massa total das pilhas. À medida que o ecrã registava 24 pratos, o colaborador retirava a pilha de pratos de cima da balança e colocava-a no tapete como de costume.

Apesar de adotado este sistema em duas linhas, foi pouco o seu tempo de utilização devido a alguns problemas como perda de calibração das balanças, a utilização incorreta do método, os possíveis intervalos de pesos dos pratos, o facilitismo do uso do papel e da contagem manual.
A ideia proposta seria utilizar as balanças por incremento que não fossem totalmente dependentes da massa absoluta do prato ou da massa final da pilha. Assim sendo, seriam estabelecidos intervalos de valores das massas para cada tipo de prato que poderiam variar. A balança ao detetar um peso em cima, num intervalo de valores aceitável e de acordo com os parâmetros já estabelecidos, contaria um prato. A cada incremento adicional de peso, a balança contaria mais uma peça. Desta forma, seriam evitados problemas por perda de calibração ou possíveis erros de ajuste na balança.

Para uam melhor análise da solução em estudo, recorreu-se a dados fornecidos pelo departamento de controlo da qualidade. Este departamento, ao longo dos turnos, vai recolhendo pratos de todos os tipos que são produzidos na empresa. Mede as massas dos pratos, os diferentes tamanhos, diâmetros e alturas que podem apresentar. Analisa também os defeitos encontrados e realiza testes em prol de poder evitar os mesmos.
Foram recolhidos os dados das medições de 5672 unidades no seu total. Com os dados recolhidos, construiu-se uma tabela com as variações das massas dos diferentes tipos de pratos a serem produzidos e ainda com uma sugestão do intervalo de valores que a balança poderia assumir para realizar a contagem.

Analisando a Tabela 5 acima poder-se-á afirmar que os grandes intervalos de variações de massas devem-se principalmente ao número de medições que foram feitas. Quando são produzidas mais peças, são também medidas mais unidades das mesmas, contribuindo para uma maior margem de variação. Por outro lado, quantas mais medições forem feitas, mais dados existem para ser analisados, o que permite obter uma visão mais abrangente, completa e variada das possíveis conclusões que essas análises permitem retirar.

Para o uso deste método de contagem, os intervalos de valores dos quais as massas dos pratos podiam variar, seriam inseridos na balança por incremento para quando esta registasse uma medida com valores no intervalo, contava uma unidade.

Tabela 5 - Variações das massas e possível intervalo de valores

TIPOS DE PEÇAS	VARIAÇÃO DAS MASSAS (G)	INTERVALO DE VALORES (G)
FK16	46,010	320-375
FK20	75,470	320-400
FK23	125,640	560-690
FK26	92,860	565-663
FK30*18	60,850	615-685

5.3. Processamento de imagem (hipótese nº3)

Uma proposta adicional para a solução do problema é contabilização das peças escolhidas recorrendo a instrumentos e tecnologias de processamento de imagem.
A contagem de unidades seria realizada com base nas imagens capturadas pelas câmaras implementadas em ângulos estratégicos durante o processo da escolha.

Este sistema de processamento de imagem, através de algoritmos e técnicas adequadas capturava as imagens, transmitia-as para o sistema e analisaria as mesmas. Desta forma. seria então possível extrair informações relevantes como: a presença dos pratos, o tipo e a cor do prato, e a quantidade de pratos que eram escolhidos e colocados no tapete. Assim, o sistema proporcionaria uma contabilização precisa em tempo real das unidades e sem a intervenção humana com possíveis falhas.

Nos dias que correm, com a evolução da tecnologia, dos sistemas de visão e das técnicas de processamento de imagem, existe uma variada gama de soluções para resolver um problema. No caso da contagem de unidades, é possível aplicar esta metodologia em vários setores industriais, seja desde objetos palpáveis como carros, garrafas, ovos, a micro-organismos e bactérias que não se vêm a olho nu. Estas técnicas trazem maior precisão, eficiência e controlo da produção.

5.4. Laser (hipótese nº4)

Utilizando outro sistema mais avançado para a contabilização de unidades numa fábrica, poderá ser escolhido um sistema de laser.
O laser teria de ser posicionado acima do local onde a pilha está a ser construída. Assim, a contagem poderia ser por duas formas: por incremento ou interrupção do feixe de luz.
Se for por incremento, contaria os incrementos de altura da pilha a partir do momento inicial quando não se encontrava nenhum prato sobre a mesa. À medida que se iam acrescentando pratos, o feixe de luz ia reconhecendo uma diminuição da medida da altura e ia fazendo a contagem desta maneira.
Por outro lado, quando um prato fosse adicionado à pilha em construção, seria interrompido o feixe de luz do laser. Desta forma, à medida que o feixe de luz era interrompido, registava uma ocorrência de bloqueio traduzida na contabilização de uma unidade. Para uma melhor eficiência da solução, poderiam ser implementadas técnicas de calibração, algoritmos para filtrar possíveis interferências humanas e bloqueios falsos.
Este sistema também proporcionaria uma contagem dos pratos mais eficiente sem o fator do erro humano, reduzindo potencias erros.
Em conclusão, tanto a hipótese agora apresentada, como todas as hipóteses identificadas anteriormente, requerem um grande investimento na sua implementação e aplicação. Devido ao investimento e ao curto período de estágio não foi possível desenvolver, testar e analisar estas hipóteses, deixando apenas como propostas para melhorias futuras.

6. Trabalho futuro

Uma unidade industrial deve procurar estar em constante melhoria e como tal, novas metodologias e diferentes soluções para um mesmo problema podem ser investigadas e implementadas.
Com vista à melhoria dos processos da empresa, ao controlo de custos, otimização de recursos gastos e volume de produção, é proposto a realização de uma análise mais detalhada das implicações a nível financeiro, que o comportamento de parar a linha de produção na secção da escolha provocam para a Ria Stone. É importante mapear a cadeia de valor na empresa e analisar a viabilidade económica de investir-se num sistema automático de contabilização das peças escolhidas.
Caso seja implementado um sistema de contabilização de unidades automático, realça-se a proposta de controlo de produção seguinte: independentemente do sistema automático escolhido e implementado, deve ser estipulado um momento (por exemplo um dia por semana) para comprovar os registos automáticos com registos efetuados manualmente.

7. Conclusão

O presente artigo investigou as oportunidades e desafios associados à automatização da secção de escolha e embalagem de uma fábrica cerâmica. A análise detalhada revelou uma série de problemas e áreas suscetíveis a melhorias, que foram abordados através de metodologias de resolução inovadoras e eficazes.
Ao longo do trabalho foram sendo identificados problemas, situações suscetíveis a melhorias e metodologias de resolução. Isto levou a uma procura desafiante pela solução, a uma intensiva pesquisa sobre assuntos teóricos menos consolidados e a uma análise detalhada do trabalho a desenvolver. A constante procura pela solução criou a oportunidade de estimular as habilidades e competências adquiridas, com vista a enfrentar os desafios propostos.
Além do trabalho realizado no âmbito da proposta testada, outras propostas foram consideradas, ampliando o horizonte de possibilidades de resolução de um problema e demonstrando a capacidade de pensar além do convencional. Essas alternativas sugerem caminhos promissores para futuras investigações e melhoria das práticas adotadas.
Salienta-se ainda que o artigo apresentado não oferece uma solução definitiva nem exclui a possibilidade de existirem outras resoluções, bem pelo contrário. Este trabalho ressalta a existência de várias soluções possíveis e diversas abordagens singulares para chegar a uma possível resolução do problema em estudo.
Em síntese, a automatização da secção de escolha e embalagem tem o potencial de proporcionar melhorias significativas na eficiência e na qualidade do processo produtivo. As soluções propostas representam um alicerce importante para a implementação de tecnologias avançadas na fábrica em estudo, contribuindo para um futuro inovador e competitivo na indústria.

Referências

Baygin, M., Karakose, M., Sarimaden, A., & Akin, E. (2018). An Image Processing based Object Counting Approach for Machine Vision Application.

Farinha, J. M. T. (2011). Manutenção - A terologia e as Novas Ferramentas de Gestão (1st ed.). Monitor.

Farinha, J. M. T. (2018). Asset Maintenance Engineering Methodologies (C. Press, Ed.).

Ghosh, S., Mandal, M. C., & Ray, A. (2023). A PDCA based approach to evaluate green supply chain management performance under fuzzy environment. INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE AND ENGINEERING MANAGEMENT , 18.

Haekal, J. (2022). The Integration of Lean Manufacturing and Promodel Simulation in the Shampoo Production Process with the VALSAT and VSM Method Approach. In International Journal of Multidisciplinary Research and Publications (IJMRAP) (Vol. 4, Issue 11).

Hines, P., Holwe, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. In International Journal of Operations and Production Management (Vol. 24, Issue 10, pp. 994–1011). https://doi.org/10.1108/01443570410558049

Kanjanasurat, I., Krungseanmuang, W., Chaowalittawin, V., & Purahong, B. (2021). Egg-Counting System Using Image Processing and a Website for Monitoring. 2021 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, ICEAST 2021 - Proceedings, 101–104. https://doi.org/10.1109/ICEAST52143.2021.9426295

Li, X., Guo, Y., Jin, H., & Zheng, J. (2023). Neural surface reconstruction with saliency-guided sampling in multi-view. IET Image Processing. https://doi.org/10.1049/ipr2.12873

Medeiros, A. A., Zamboni, V. R., & Rosini, M. A. (2020). TPM-TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE: UM ESTUDO DE CASO DE IMPLEMENTAÇÃO EM EMPRESA DE GRANDE SEGMENTO. RIT, 10(01).

Pandit, A., Rangole, J., Shastri, R., & Deosarkar, S. (2015, February 5). Vision system for automatic counting of silkworm eggs. 2014 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2014. https://doi.org/10.1109/ICICES.2014.7034036

Pinto, J. (2009). MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PENSAMENTO JIT - Uma abordagem prática aos conceitos (Publindústria & E. Técnicas, Eds.).

Pinto, J. P. (2014). Pensamento Lean - A Filosofia das organizações vencedoras (Lidel- Edições Técnicas, Ed.; 6th ed.).

Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Going beyond Triviality: The Toyota Production System—Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen. Journal of Service Science and Management.

Santos, A. J. R. (2008). Gestão Estratégica - Conceitos, modelos e instrumentos (E. Editora, Ed.).

Song, H., Liang, H., Li, H., Dai, Z., & Yun, X. (2019). Vision-based vehicle detection and counting system using deep learning in highway scenes. European Transport Research Review, 11(1). https://doi.org/10.1186/s12544-019-0390-4

ID43
Otimização de operações de *picking* através de uma eficiente localização do armazenamento

M. Mansilha ([1]), M. Vieira ([2]), T. Pinto ([1])
marianamansilha123@gmail.com, miguel.vieira@ulusofona.pt, telmo.pinto@dem.uc.pt

([1]) Universidade de Coimbra, CEMMPRE, ARISE, Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+, Universidade Lusófona, Lisboa, Portugal

Resumo

Neste trabalho abordamos o contexto de uma empresa do setor tecnológico, que lida com a armazenagem e distribuição de componentes e equipamentos industriais. Foi efetuado um levantamento detalhado das operações em armazém, bem como dos processos inerentes à gestão de fornecedores e ao planeamento. Os processos logísticos foram analisados com detalhe no que concerne aos custos com receção, armazenamento, *picking* e expedição. Uma análise ABC foi utilizada para categorizar os artigos armazenados com base na sua importância relativa. Foi igualmente formulado um modelo de programação matemática para a atribuição da localização ótima de artigos no armazém que minimiza os custos totais associados às deslocações internas. Os resultados obtidos conduziram a uma redução nos tempos de operação e, consequentemente, uma diminuição dos custos de *picking*, melhorando o fluxo de artigos ao longo de todo o processo no armazém.

Palavras-Chave: armazenamento, *picking*, otimização, alocação de artigos

1. Introdução

A logística empresarial desempenha um papel crucial ao fornecer o suporte necessário para a redução de custos, podendo fornecer serviços mais rápidos e contribuindo para a fidelização dos clientes. Através de um planeamento, organização e controlo eficazes das atividades de movimentação e armazenamento, as atividades logísticas procuram um elevado nível de rentabilidade nos serviços de distribuição, assegurando que os bens e serviços cheguem aos consumidores no momento oportuno, no local adequado e nas condições físicas desejadas. A eficiência na gestão operacional de armazéns constitui uma das principais preocupações dos investigadores, dada a complexidade inerente aos problemas de decisão operacional nas suas etapas de receção, armazenamento, *picking* e expedição. Incrementar a eficiência operacional mediante a redução dos prazos de entrega, a diminuição dos níveis de inventário, a recolha eficiente e o acesso rápido à informação, contribui de forma significativa para a redução dos custos e para o aumento da rentabilidade e da competitividade das empresas (Şenyiğit, 2022).

Numa instalação logística destacam-se os processos de armazenamento e de *picking*, uma vez que o armazenamento é dispendioso devido ao custo de manutenção de inventário e, o *picking* necessita em geral de grande intervenção (Wisittipanich & Kasemset, 2015). Os processos de *picking* envolvem a preparação de pedidos ou ordens, em que o operador percorre o armazém para selecionar os itens solicitados. O tempo de deslocação durante o processo de *picking* é considerado um custo direto, pois consome tempo sem acrescentar qualquer valor (Bartholdi & Hackman, 2019). Não surpreendentemente, uma distância considerável entre as localizações dos artigos conduz a um tempo elevado na preparação de pedidos (Živicnjak et al., 2022). Adicionalmente, o processo de *picking* é uma operação de armazém que é repetida por cada pedido e, por esse motivo, tem um efeito considerável na eficiência do sistema (Yener & Yazgan, 2019). A alocação eficiente de locais de armazenamento permite reduzir tempos de armazenamento e tempos de preparação de pedidos, ou *picking*, uma vez que permite diminuir as distâncias percorridas e a congestão de fluxo de produtos (Wisittipanich & Kasemset, 2015).

O Problema de Atribuição de Localização de Armazenamento (SLAP, acrónimo na literatura anglo-saxónica) está relacionado com a alocação de diferentes artigos em diferentes locais. Ao realizar esta distribuição, é possível otimizar o espaço utilizado e, consequentemente, diminuir os custos de utilização bem como a duração das operações de movimentação (Şenyiğit, 2022). O SLAP é um problema NP-difícil, sendo comum a adopção de métodos assentes em meta-heurísticas para problemas de maior dimensão. Os modelos de programação matemática são adequados para instâncias de pequena e média dimensão cujo objetivo é minimizar as distâncias totais de deslocação num processo de *picking* e armazenamento (Wisittipanich & Kasemset, 2015). Como exemplo, Kasemset e Meesuk (2014) sugerem um modelo de otimização para a atribuição de armazenamento de

artigos em armazém cujo principal objetivo é otimizar a distância total percorrida pelo operador, em que a distância é considerada em três eixos.

Este trabalho aborda a melhoria da eficiência das operações de armazenamento de um caso real de uma empresa do setor tecnológico, em particular o desempenho das operações de *picking*. A atribuição do local adequado no armazém, que envolve alocar o artigo a uma localização disponível, no momento preciso e na quantidade ideal, é de vital importância. Uma gestão eficaz de atribuição de locais de armazenamento conduz à redução dos custos de manuseamento, aumento da utilização eficiente do espaço disponível, maior organização e a menores tempos das operações de *picking* (Şenyiğit, 2022). Com o intuito de reduzir os tempos e distâncias percorridas durante os processos de armazenamento e *picking*, uma solução para o problema SLAP é assim considerado essencial para aumentar a eficiência operacional do armazém. Para tal, este estudo procura formular um modelo de otimização para a alocação ótima de artigos que minimize as distâncias percorridas no armazém da empresa em causa, considerando o número de movimentos realizados por artigo. De seguida é apresentada a Metodologia que enquadra o estudo, seguida da Discussão dos resultados e, por fim, são apresentadas as Conclusões.

2. Metodologia e Métodos

Considerando a metodologia *Action-Research* (Bryman, 2003) aplicada no desenvolvimento, diagnóstico e solução de um problema, as descobertas ao longo do processo contribuem para a construção do conhecimento. A primeira fase, diagnóstico, tem como principal objetivo a identificação de uma oportunidade de melhoria ou de um potencial problema. Segue-se a fase de planeamento de ação, que permite planear a abordagem e a estratégia adotada ao longo do estudo. Posteriormente, a execução das ações delineadas é a próxima etapa. Por fim, realiza-se a avaliação das ações executadas, verificando-se o efeito esperado em comparação com o efeito real e o impacto no problema inicial, procedendo-se então à identificação e registo das conclusões do projeto (Santos et al., 2013).

Considerando o caso da empresa em estudo, numa fase inicial todo o processo de armazém foi mapeado utilizando fluxogramas, bem como o processo e o funcionamento da equipa logística. Com base nisso, foram identificadas as oportunidades de melhoria, visando a definição da estratégia a adotar. Após a identificação das oportunidades de melhoria, decidiu-se focar na alocação eficiente de materiais a locais de armazenamento. Procedeu-se à recolha de dados, especificamente de tempos e custos dos processos logísticos. Foi também efetuada uma análise ABC para compreender a situação atual de rotatividade dos artigos e, assim, determinar a melhor estratégia de armazenamento por tipo artigos a adotar. Na fase de execução da ação, desenvolveu-se o modelo matemático e procedeu-se ao estudo da alteração de uma amostra de localizações atuais para as otimizadas. Em seguida, realizou-se a recolha de tempos de *picking*, bem como o cálculo dos custos logísticos, de modo a observar o impacto da solução implementada.

2.1. Contexto da empresa

A empresa do sector tecnológico apresenta diversas áreas funcionais na sua unidade fabril e o estudo centra-se num setor responsável pelo fabrico de uma gama abrangente de produtos customizados de sistemas de alimentação e proteção, automação e controlo (X, Y e Z). O armazém logístico representado na Figura 1 é o local onde ocorre a receção e armazenamento de artigos que vão compor as ordens de fabrico, o embalamento e a expedição de produtos. Para além das operações de *picking* relacionadas com a área de armazenamento (*racks*), decorrem igualmente as de receção e expedição representadas por setas. As estantes rotativas R1 e R2 destinam-se aos artigos de maior rotatividade da gama X, enquanto a estante B destina-se a artigos de maior dimensão do mesmo produto. Por outro lado, as *racks* C, D e a estante rotativa R3, destinam-se ao armazenamento de artigos que integram a gama de produtos Y e Z e, por fim, a estante E destina-se a artigos enviados para produção externa, chaparia e produto acabado. Cada *rack* é constituída por 4 níveis de altura e 24 colunas de comprimento, conforme representado na mesma figura.

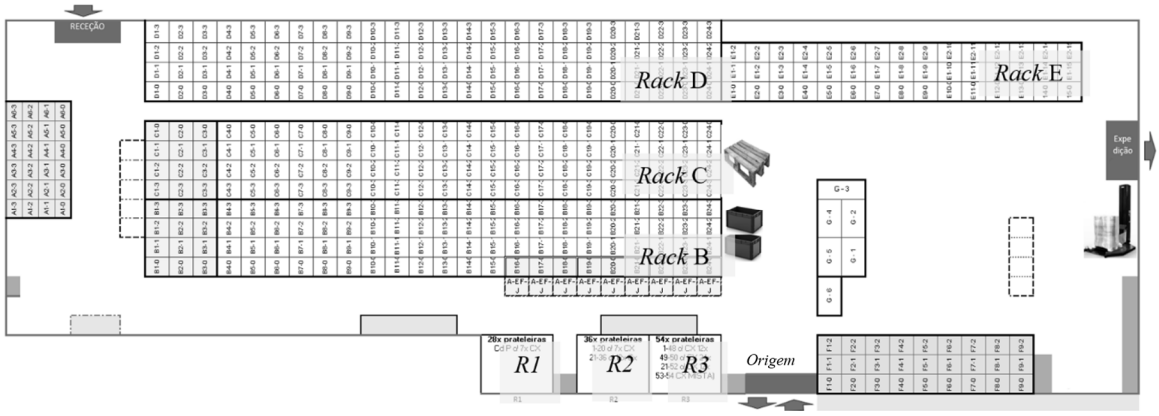


Figura 1 – Layout do armazém logístico

Na fase inicial do estudo o foco foi a compreensão dos processos e funcionamento das equipas logísticas. A realização dos diversos fluxogramas permitiu compreender o funcionamento das equipas de planeamento e gestão de fornecedores bem como o fluxo de armazém. Estes foram obtidos através do acompanhamento dos processos e da realização de entrevistas aos operadores e membros das equipas. Da sua análise concluiu-se que as operações de receção têm um impacto significativo na equipa de gestão de fornecedores, uma vez que permitem verificar se os artigos chegaram atempadamente e dentro dos parâmetros requisitados (quantidades, tipo, condição, etc.). Além disso, a contagem de artigos realizada impacta a gestão de inventário, pois determinar as quantidades disponíveis em armazém influencia o planeamento da produção da área fabril. Por outro lado, o processo de armazenamento tem um impacto significativo nas operações de preparação de encomendas, uma vez que a disposição dos artigos e a sua organização influenciam o tempo de *picking*. Adicionalmente, concluiu-se que a operação de *picking* é realizada por produto, ou seja, existe um operador específico para a preparação de pedidos por gama de produtos. Finalmente, a expedição é um processo demorado pois envolve o embalamento de produtos de grande dimensão e varia conforme o tipo de expedição (marítimo, aéreo ou terrestre). Para exemplo, na Figura 2 está mapeado o fluxograma referente às operações de *picking*. De uma forma geral, constatou-se nos fluxos do armazém que não existia um sistema metódico de armazenamento para artigos de elevada rotatividade. Além disso, observou-se que uma mesma localização continha mais do que um artigo armazenado e que havia falta de organização, o que resultava em operações de *picking* demoradas pois o operador despendia de demasiado tempo à procura de artigos que, por vezes, não se encontravam no local de armazenamento registado.



Figura 2 – Fluxograma das operações de picking no armazém

Tendo em conta a elevada diversidade de artigos em stock, a análise ABC permitiu identificar e classificar os com maior rotatividade e por isso sujeitos a políticas de gestão diferenciadas. A análise atribui a cada artigo uma classe (A, B ou C), sendo que os artigos de classe A representam aproximadamente 20% do total de artigos e corresponde a cerca de 80% do total de movimentos de saída em ordens de fabrico registadas no ano de 2023. Por sua vez, os itens de classe B representam os itens de consumo moderado, ou seja, cerca de 30% do total de artigos que representam 15% de movimentos, e os artigos de classe C indicam baixa movimentação (5%) e representam 50% do total dos artigos. Para simplificação, este estudo centra-se apenas nos artigos da gama de produtos Y e Z, e dessa forma, apenas as *racks* C e D serão consideradas no problema.

2.2. Formulação do problema

Para o presente estudo, um modelo de Programação Inteira Mista (MIP) considerando o problema SLAP é formulado com base em Kasemset e Meesuk (2014) representado pelos seguintes índices, parâmetros, variáveis e restrições:

Índices
p Número do artigo $(1, 2, 3, \dots, P)$
i Ordem da posição do bloco de armazenamento $(1, 2, 3, \dots, I)$
j Ordem de profundidade do bloco de armazenamento $(1, 2, 3, \dots, J)$
k Ordem do nível $(1,2,3, \dots, K)$
r Ordem da fila $(1,2,3, \dots, R)$

Parâmetros
D_x Distância desde o ponto de entrada/saída até o ponto de origem ao longo do eixo do X
D_y Distância desde o ponto de entrada/saída até o ponto de origem ao longo do eixo do Y
W_a Largura do corredor
W_r Largura da fila de armazenamento
L_s Comprimento do bloco de armazenamento
H Altura do bloco de armazenamento
M Máximo número de artigos por cada bloco de armazenamento
T_p Número de operações de *picking* para o artigo *p*
S_p Número de blocos de armazenamento necessários para o artigo *p*

Variáveis de Decisão
X_{pijkr} 1 se o artigo *p* é alocado à posição de armazenamento *i*, *rack j*, fila *r*, nível *k*, 0, caso contrário.
D_{ijkr} variável auxiliar para cálculo das distâncias

$$Min\ f = \sum_{pijkr} \frac{T_p}{S_p} X_{pijkr}\ D_{ijkr} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$D_{ijkr} = X + Y + Z \quad \forall\ i, j, k \quad (2)$$

$$X = D_x + (i - 0{,}5)\ L_s \quad \forall\ i \quad (3)$$

$$Y = D_y + (0{,}5j\ \cdot W_a) + [(j-1)\ (W_r + 0{,}5W_a)] + [(W_r + W_a)(r-1)] \quad \forall\ j \quad (4)$$

$$Z = H\ (k-1) \quad \forall\ k \quad (5)$$

$$\sum_{ijkr} X_{pijkr} = S_p \quad \forall\ p \quad (6)$$

$$\sum_{ijr} X_{pijkr} = S_p \quad \forall\ p \in classeABC\ , k \in classeABC \quad (7)$$

$$\sum_p X_{pijkr} < M \quad \forall\ i, j, k, r \quad (9)$$

$$X_{pijkr} \in \{0,1\} \quad \forall\ p, i, j, k, r \quad (10)$$

A função objetivo dada pela Equação (1) considera a minimização da distância percorrida, em metros, pelo operador durante as operações de manuseamento de artigos, abrangendo as distâncias percorridas nas direções horizontais e verticais. As Equações (2), (3), (4) e (5) indicam como calcular a distância total de deslocamento ao considerar os três eixos A Equação (6) garante que cada produto é armazenado nas unidades de armazenamento conforme o número definido de unidades necessárias. Para este caso foi adicionada a Equação (7) que força a alocação de artigos provenientes da análise ABC para determinados níveis da estante. Finalmente, a Equação (8) restringe o máximo de artigos por cada bloco de armazenamento, e a Equação (9) a definição da principal variável binária de decisão.

3. Resultados e Discussão

Considerando o caso em estudo, foram registadas as distâncias do ponto de origem indicado na Figura 1 até ao posto de *picking*, considerando D_x =2.2 metros e D_y = 4.5 metros. O bloco de armazenamento apresenta 1 metro de profundidade, 1,35 metros de altura e uma largura de 2,7 metros (W_r). Para este exemplo foram considerados 429 artigos (*P*) que serão distribuídos pelas localizações disponíveis das 24 colunas agregadas 3 a 3 *I*=8 das 2 estantes (*R*=2), com 1 nível de profundidade *J*=1, 4 níveis de altura *K*=4, sendo a largura do corredor W_a =2,5 metros. Os parâmetros T_p e S_p foram definidos com base na análise dos artigos, assim como o limite máximo de

artigos por bloco ser *M*=27. Nas restrições foi igualmente considerado forçar a alocação dos artigos de alta rotatividade (classe A) ao nível 1, e os artigos de baixa rotatividade (classe C) ao nível 4, conforme análise ABC conduzida previamente e atendendo ao número de localizações disponíveis. O modelo foi implementado em IBM ILOG CPLEX Studio IDE 22.1.1 num computador com processador 2,30 GHz Intel Core i7 e 16 GB RAM, permitindo obter soluções com tempos computacionais inferiores a 30 segundos.
A solução ótima obteve um valor da função objetivo de 110534,2 metros de distância e, para exemplificar, parte da mesma é apresentada na Figura 3. Conforme é possível observar na listagem de artigos, o artigo 1 com referência 1302006, está alocado na coluna 6, na linha 1, no nível 4 e na *rack* 2, ou seja, este deve ser alocado na estante D, nas localizações da coluna 16, 17 ou 18, no nível mais alto da estante. É possível provar a validade da solução com todos os artigos alocados, assim como os artigos de alta rotatividade se encontram no nível 1 das estantes e os artigos de baixa rotatividade no nível 4.

Solução	REF	produto	i(coluna)	j (linha)	k (nível)	r(rack)	X[p][i][j][k][r]
1,6,1,4,2,1	1302006	1	6	1	4	2	1
2,1,1,3,1,1	1323950	2	1	1	3	1	1
3,2,1,2,1,1	1323952	3	2	1	2	1	1
4,2,1,2,1,1	1323961	4	2	1	2	1	1
5,2,1,2,1,1	1325006	5	2	1	2	1	1
6,1,1,3,2,1	1325011	6	1	1	3	2	1
7,1,1,1,2,1	4101096	7	1	1	1	2	1

Figure 3 – Amostra da solução ótima

Com base na classificação dos artigos e comparando esta solução com a situação atual, foi possível concluir que nas estantes C e D existiam 24% de Artigos A alocados indevidamente nos níveis acima do 1. Quanto aos artigos de classe C, excluindo os que possuem características especiais e necessitam de certos cuidados, cerca de 46% encontravam-se incorretamente armazenados nesse nível. Por forma a contabilizar o impacto destes resultados da alocação ótima dos artigos, foi feito um estudo com uma amostra de artigos em armazém e simulou-se as operações reais de *picking* tendo por base uma ordem de fabrico. Os resultados comparáveis permitiram observar que os tempos de *picking* dos artigos da gama Y foram reduzidos de 122 minutos para 114 minutos, e no caso dos artigos da gama Z foram reduzidos de 120 minutos para 100 minutos. Foi notado igualmente que a organização proporcionou ao operador uma melhor visibilidade e precisão na procura dos artigos durante as operações de *picking*. De notar que, atribuindo os custos associados às operações, é possível verificar a redução proporcional nos custos logísticos. Esta redução resulta dos artigos de maior rotatividade estarem mais próximos da zona de preparação de pedidos e armazenados em níveis mais baixos, o que diminui a necessidade de utilização de empilhadores e, consequentemente, o tempo de preparação dos pedidos.

4. Conclusões

Este trabalho foi realizado num contexto real de uma empresa do sector tecnológico com o desafio estudar e apoiar as decisões e processos logísticos, com o objetivo de reduzir os custos da empresa. A partir do levantamento dos diversos processos, foi possível constatar que no armazém logístico da empresa não existiam critérios definidos para o armazenamento dos artigos, o que resultava em operações de *picking* demoradas, desorganização, identificação incorreta e disposição inadequada dos artigos. De modo a alcançar os objetivos mencionados foi implementado um modelo de otimização baseado na literatura de problemas SLAP, procurando soluções ótimas de alocação de artigos nas *racks* do armazém para a minimização das distâncias percorridas pelo operador nas operações de *picking*.

Os resultados comprovaram que, com a alocação ótima dos artigos, a distância percorrida pelo operador diminui, resultando em tempos de operação mais reduzidos. Os custos por operação foram reduzidos em cerca de 7% no processo de *picking* de artigos da gama Y e 17% no processo de preparação de pedidos da gama Z. Esta abordagem confirma a melhoria dos processos de *picking* e armazenamento, resultando numa consequente redução dos custos logísticos.
Como trabalho futuro, sugere-se que se realize uma análise mais aprofundada e detalhada à totalidade dos artigos, levando em consideração a dimensão e o peso de cada artigo ou caixa de artigos, com o objetivo de otimizar o espaço disponível em cada palete e sem exceder a capacidade das estantes. Este estudo trará vantagens significativas para a performance dos operadores, promovendo maior organização, rápida preparação de pedidos e uma disponibilização mais visível dos artigos, evitando perdas de artigos no armazém.

Referências

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2008). *Warehouse & Distribution Science: Release 0.89* (p. 13). Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute.

Bryman, A. (2003). *Research methods and organization studies*. Routledge.

Kasemset, C., & Meesuk, P. (2014). Storage location assignment considering three-axis traveling distance: A mathematical model. *Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability*, 499-506.

Santos, V., Amaral, L., & Mamede, H. (2013, June). Using the action-research method in information systems planning creativity research. In *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1-7). IEEE.

Şenyiğit, E. R. C. A. N., & Arsav, M. (2022). Current studies on storage location assignment problem. *Global Journal of Business, Economics and Management, 12*(3).

Wisittipanich, W., & Kasemset, C. (2015). Metaheuristics for warehouse storage location assignment problems. *Journal of CMUJ NS Special Issue on Logistics and Supply Chain Systems, 14*(4).

Yener, F., & Yazgan, H. R. (2019). Optimal warehouse design: Literature review and case study application. *Computers & Industrial Engineering, 129*, 1-13.

Živičnjak, M., Rogić, K., & Bajor, I. (2022). Case-study analysis of warehouse process optimization. *Transportation Research Procedia, 64*, 215-223.

ID44
Otimização da produção numa máquina de estampagem por aplicação da Filosofia *Lean*

Maria Inês Arede Pinho ([1]), Ana C. V. Vieira ([1, 2, 3, 4])
a2020128644@isec.pt, avieira@isec.pt

([1]) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal
([2]) RCM2+ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal
([3]) CISE-Electromechatronic Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior, Portugal
([4]) Ci2 - Smart Cities Research Center, Polytechnic Institute of Tomar, Portugal

Resumo

A procura pela eficiência e competitividade é uma preocupação constante para as organizações em todos os setores da economia. Neste contexto, a otimização do processo produtivo surge como um elemento fundamental para alcançar estes objetivos, uma vez que envolve a análise e melhoria de todas as etapas envolvidas na produção de bens. A aposta em ferramentas de filosofia *Lean* torna-se, assim, essencial, pois permite alcançar esses objetivos de uma forma relativamente fácil de implementar e com custos controlados, tendo sempre em vista da redução do desperdício.
O presente artigo descreve o trabalho desenvolvido numa unidade industrial de produção de peças para a indústria automóvel através do processo de estampagem a frio. Metodologias como, VSM, diagrama de *Spaghetti* e SMED foram utilizadas com o intuito de melhorar a organização e a produtividade sem grandes investimentos monetários. Em particular, o artigo aborda a máquina ASAHI-SUNAC essencial no processo produtivo da Porca Sxt.Baixa Aço Zn M8.
A realização deste trabalho permitiu a redução do tempo de *setup* da máquina identificada, e impulsionou a criação de novos métodos na realização das tarefas do *setup*, bem como revelou possíveis melhorias a nível de organização do espaço de trabalho.
Em suma, os resultados obtidos comprovam que com pequenas mudanças na realização das tarefas, pode-se chegar a sistemas de trabalho mais eficientes e simples. Além disso, enfatizam a importância da cooperação de cada trabalhador para promover a melhoria contínua em toda a organização.

Palavras-Chave: TPS, *Lean*, VSM, SMED, diagrama de *Spaghetti*

1. Introdução

No cenário económico atual, as empresas enfrentam uma competição e desafios constantes para que mantenham o seu lucro e relevância. Cada vez mais, existe uma procura constante no aperfeiçoamento da eficiência operacional. Neste seguimento, a otimização do processo produtivo ergue-se como um foco para as organizações. Esta envolve a análise detalhada de todas as etapas e atividades envolvidas no processo produtivo e tem como objetivo a eliminação de desperdícios e gargalos, que possam vir a prejudicar a produtividade e a rentabilidade.

Para que a otimização seja alcançada, as empresas podem adotar diversas estratégias e metodologias para desenvolver um perfil de cultura organizacional adequado. As ferramentas *Lean*, em particular, permitem aumentar a competitividade das empresas, uma vez que tentam otimizar os processos (Drews et al., 2020; Jadhav & Ekbote, 2021; Leming-Lee et al., 2019; Melton, 2005; Pinto, 2009; Rosa et al., 2017a; Sundar et al., 2014).

A empresa onde decorreu o estudo, tem como objetivo, manter a sua liderança e os resultados positivos, o que leva à necessidade de melhorar cada vez mais os processos produtivos. O projeto de otimização que se descreve neste artigo foi aplicado a uma máquina especifica (ASAHI-SUNAC), com foco num dos artigos produzidos na mesma, a título exemplificativo. O primeiro passo deste projeto foi analisar o processo produtivo da máquina ASAHI-SUNAC e identificar pontos fracos que comprometessem a eficiência da máquina.
Desta forma, a primeira parte do trabalho focou-se na caracterização do estado inicial do processo produtivo naquela máquina, através do mapeamento da cadeia de valor do artigo especificado, que é exclusivamente processado na máquina mencionada. Durante a análise, foram identificados tempos elevados de *setup*, que despontaram a necessidade de implementar o diagrama de Spaghetti e o SMED (*Single Minute Exchange of Die*).

Após a implementação destas ferramentas, e com base nos resultados obtidos neste estudo, procedeu-se à apresentação de propostas de melhoria.

2. Revisão Bibliográfica

O *Lean Thinking* é um dos mais bem-sucedidos paradigmas de gestão que o mundo empresarial conheceu, é uma filosofia de liderança e de gestão que tem como objetivo a sistemática eliminação do desperdício e a criação de valor bem como desenvolver pessoas, processos e sistemas. A filosofia do "pensamento magro" tem as suas raízes no TPS. Foram desenvolvidas ferramentas e métodos práticos para apoiar o "pensamento magro", como por exemplo, Mapeamento da Cadeira de Valor (VSM) (Lean Enterprise Institute, 2023; Leming-Lee et al., 2019; Melton, 2005; Pinto, 2009).

Esta filosofia alcançou uma enorme reputação mundial, sendo aplicada em todas as áreas de atividade económica, desde organizações com fins lucrativos ao setor público, sendo já possível encontrar aplicações *Lean* na gestão de organizações não-governamentais e sem fins lucrativos.
Assim, é uma filosofia que oferece uma maneira de fazer mais com menos, ou seja, com menos esforços, menos equipamento, menos tempo e até menos espaço, enquanto ao mesmo tempo são produzidos produtos que os clientes realmente procuram, na devida quantidade e no momento certo.

2.1 Desperdícios

As primeiras sete categorias de desperdícios foram identificadas por Taiichi Ohno (1912-1990) e Shigeo Shingo (1909-1990) no desenvolvimento do TPS. Esta filosofia consiste em conseguir produzir um produto de acordo com a sua procura real e utilizando o mínimo possível de recursos, como referido anteriormente. Para que isto seja possível é necessário eliminar todas as atividades que não acrescentam valor ao produto, ou seja, desperdícios que provocam o aumento de custos. Neste seguimento, são apresentados os setes desperdícios (Pinto, 2009; Veres et al., 2018):

- **Excesso de produção:** Produção de quantidades desnecessárias, provocando uma ocupação excessiva de recursos. A redução deste desperdício, baseia-se na aplicação do sistema Pull, produzindo só quando e estritamente o que o cliente quer como enunciado no sistema *Just-in-Time* (JIT).
- **Esperas:** Tempo que as pessoas ou equipamentos perdem sempre que estão à espera de algo, como por exemplo grandes lotes de produção. Para solucionar este desperdício, deve proceder-se ao balanceamento dos postos de trabalho.
- **Transporte e movimentações:** Transferência de materiais, acabados ou inacabados, de um sítio para o outro por algum motivo. Levando a que os produtos fiquem danificados. Das várias soluções propostas, uma delas é corrigir layouts, alterar o planeamento das opções e optar por um transporte mais flexível.
- **Desperdício do próprio processo:** Refere-se a operações e a processos que não são necessários. O aumento dos defeitos pode ser devido aos processos incorretos. A solução encontrada para este desperdício é a formação de colaboradores.
- ***Stocks:*** Denunciam a presença de materiais retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da fábrica. Uma das melhores maneiras de encontrar desperdícios é procurar os pontos onde há tendência para existirem stocks. Para que não existam stocks um exemplo de solução é regulação do fluxo de operações.
- **Defeitos:** Problemas de qualidade. Os erros humanos criam defeitos, e os defeitos criam reclamações dos clientes. Quando existe defeitos com muita frequência, aumenta-se as inspeções para evitar que os defeitos passem para os clientes e os stocks aumentam para compensar as peças com defeito. Implementar operações padrão é uma das soluções apresentadas.
- **Trabalho desnecessário:** Movimento que não é realmente necessário para executar as operações. Uma das soluções é apostar na formação dos colaboradores.

Mais tarde, foram identificadas mais fontes de desperdício, entre elas:

- **Não aproveitamento das sugestões dos colaboradores:** o não aproveitamento das competências e talento dos funcionários (Chahal & Narwal, 2017; Torielli et al., 2011).
- **Melhorias desperdiçadas:** é o desperdício devido à falta de alinhamento e sincronização entre os departamentos e a gestão da organização. Ocorre quando as exigências da gestão não correspondem à capacidade da organização, ou quando não existe harmonia entre os departamentos indiretamente relacionados. (Bengtsson & Osterman, 2014).

2.2 Value Stream Mapping

Como já foi referido anteriormente, o *Lean Thinking* engloba uma série de práticas, técnicas e metodologias produtivas, das quais se destaca neste momento o Mapeamento do Fluxo de Valor - *Value Stream Mapping* (VSM). Esta ferramenta é utilizada para identificar o fluxo de recursos e as áreas onde as operações consomem recursos, mas não acrescentam valor, bem como identificar as causas, permite visualizar o percurso de um produto ao longo de toda a cadeia de valor e o fluxo de informações (diz a cada processo o que fazer a seguir). É importante que estes dois fluxos sejam conhecidos e quantificados (Pinto, 2009).

A construção do VSM é estática e representa uma determinada altura, um momento. Segue-se a linha de produção de determinada família de produtos e desenha-se uma representação visual do fluxo de material e informação, processo a processo, desde o cliente aos fornecedores. O fluxo de material é desenhado na parte inferior, da esquerda para a direita. Por sua vez, o fluxo de informação é representado na parte superior, da direita para a esquerda. Após o desenho do fluxo, este é utilizado para criar ideias que levarão ao desenho do mapa futuro "to be".

Paralelamente é feita uma recolha de dados que ajudarão mais tarde a analisar todo o processo produtivo (Pinto, 2009). Conforme os objetivos de cada organização e tendo em conta as necessidades dos seus clientes, essa recolha de dados poderá variar, destacando-se os seguintes (Lacerda et al., 2016; Pinto, 2009; Sundar et al., 2014):

- Tempo disponível de trabalho: tempo útil de trabalho de que os colaboradores dispõem;
- Tempo de ciclo do processo;
- Tempo de *change-over*: tempo necessário para a mudança de equipamentos e máquina desde o último produto para o seguinte;
- Número de operadores;

Benefícios do VSM
O VSM é uma ferramenta muito útil e uma das mais utilizadas das aplicações de *Lean Thinking*. Numa fase inicial ajuda a localizar os desperdícios e a identificar as suas causas. O VSM permite mapear o estado atual (*as is*), validar dados existentes, identificar desperdícios, mapear processos e cadeia de valor (Pinto, 2009).

Caracteriza-se por uma linguagem comum, simples e intuitiva, e fornece uma base para um plano de implementação de melhorias.

2.3 Diagrama de Spaghetti

O diagrama de Spaghetti é um método para observar o movimento de um produto, ou de um ou mais operadores num sistema de produção, com ajuda de uma linha. Serve também como um complemento ao mapa da cadeia de valor, marcando sobre a planta do edifício o fluxo de pessoas, equipamentos e documentos (Esteves et al., 2015).

O objetivo é perceber o caminho percorrido pelos operadores ou produtos e a distância desses movimentos, de forma a identificar movimentos ineficientes e áreas ineficazes. A partir desta análise poderão ser considerados, por exemplo, possíveis alterações no *layout* do posto de trabalho (Esteves et al., 2015; Pinto, 2009).

2.4 Single Minute Exchange of Die (SMED)

A metodologia SMED é uma das mais conhecidas técnicas de troca rápida de ferramenta e redução dos tempos de *setup*, permitindo também a redução dos custos produtivos e possibilitando uma maior flexibilidade produtiva. Uma das áreas de maior aplicação é na indústria metalomecânica, ao permitir diminuir a mudança de ferramenta (Pinto, 2009).

O *setup* é o processo de mudança da produção de um produto para o outro, na mesma máquina ou equipamento, que exija troca de ferramentas ou dispositivos. A partir desta definição entende-se que o *setup* deve englobar todas as atividades que acontecem imediatamente após o início dos procedimentos para a troca de um produto (Jadhav & Ekbote, 2021; Pinto, 2009; Rosa et al., 2017a).

O desenvolvimento do SMED teve como mentor Shigeo Shingo. Este demorou dezanove anos para ser concluído e compreende três grandes momentos. O primeiro ocorreu em 1950, quando Shingo foi trabalhar para a fábrica da Mazda em Hiroshima, com o objetivo de aumentar a produtividade das prensas da fábrica. Shingo observou uma troca de ferramentas numa prensa de 800 toneladas de força que esteve parada uma hora e meia por falta de um parafuso. Neste momento Shingo percebeu que existiam dois tipos de operações de *setup* (Pinto, 2009):

- *Setup* interno: tempo de preparação interno, referente a atividades ou operações que só podem ser realizadas com a máquina parada;
- *Setup* externo: tempo de preparação externo, referente a atividades ou operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

O tempo de troca, dessa forma, é medido pelo intervalo de tempo compreendido entre a última unidade produzida e a primeira unidade. Tempos elevados de setup, além de representarem um custo considerável, comprometem a agilidade da empresa em relação às entregas, à possibilidade de assumir novos pedidos ou mesmo de conquistar novos mercados. Assim, torna-se essencial definir o que é setup e quais as atividades nele envolvidas para se poder atuar no sentido de reduzir o tempo despendido nessas atividades.
Os principais conceitos que suportam a redução do tempo de setup são as seguintes (Pinto, 2009).

- Separar as atividades de *setup* internas e externas envolvidas no processo de mudança de ferramenta;
- Converter as atividades de *setup* internas em externas onde possível, de modo a minimizar o tempo de paragem do equipamento ou processo;
- Eliminar a necessidade de ajustes (como apertos e calibrações).

Vantagens do SMED para uma empresa
Entre as vantagens da aplicação do SMED refere-se (Drews et al., 2020; Leming-Lee et al., 2019; Pinto, 2009; Rosa et al., 2017b):

- Aumento da capacidade produtiva sem aumento de custos;
- Eliminação de erros de *setup*;
- Melhoria da qualidade e menos erros cometidos nos *setups*;
- Menor exigência de qualificação;
- Métodos de produção revolucionados;
- Produção sem *stock*;
- Qualidade melhorada;
- Redução dos custos operacionais;
- Redução de stocks intermédios, o que permite trabalhar com lotes mais pequenos, logo mais flexibilidade;
- Redução de tempos não produtivos;
- Redução da variedade nos processos;
- *Setups* rápidos e simples requere pessoas menos qualificadas para a sua realização;
- Uniformização de procedimentos.

Os ganhos com a aplicação do SMED conseguem uma redução do tempo de setup que chega a ultrapassar 50 %, e para além disso redução de defeitos, redução de prazos de entrega, ganhos de produtividade, ganhos de rentabilidade e aumento da satisfação dos clientes (Pinto, 2009).

Principais fases do SMED
A metodologia SMED está dividida em quatro fases que se descrevem a seguir (Pinto, 2009) (Sundar et al., 2014):

- **Fase Preliminar:** Não há distinção entre processos internos e externos, confundem-se estes dois conceitos. Apenas se conhecem tempos das atividades realizadas no *setup*. Estudar o processo detalhadamente, fazendo filmagens de todas as atividades. Falar com os colaboradores envolvidos no processo, também é uma boa técnica, pois são eles que melhor conhecem o processo e facilmente conseguem identificar dificuldades na sua realização. Reunir dados relacionados com o procedimento atual para que possam posteriormente ser analisados.
- **Fase 1: Separar as atividades internas das externas.** A fase mais importante. As atividades devem ser estudadas e classificadas em internas ou externas ao *setup*. No final desta fase, deverá haver uma clara distinção entre tarefas internas e externas. Nesta etapa ocorre logo uma oportunidade de melhoria, se as atividades externas forem colocadas no início ou no fim do *setup*.

- **Fase 2: Converter as tarefas internas em externas.** Faz-se uma análise às operações internas e externas. Chega-se à conclusão de que muitas das operações realizadas com a máquina parada podem ser efetuadas antes da paragem ou após voltar ao seu funcionamento, ou seja converte-se ações internas para a passagem para externas, por exemplo pedir o material antecipadamente, em vez de só pedir quando já se está a mudar a ferramenta, ou seja com a máquina parada. O grande objetivo desta fase é tentar converter o máximo de operações internas em operações externas e ao mesmo tempo tentar o melhoramento das ações internas.
- **Fase 3: Reduzir e eliminar as atividades internas.** Reduzir o tempo das atividades que têm de ser mesmo internas, ou se possível eliminá-las. Nesta etapa procura-se eliminar e reduzir apertos, eliminar e reduzir os ajustes.
- **Fase 4: Simplificar todos os aspetos das operações de *setup*.** Como por exemplo usando vários operadores a trabalhar paralelamente durante a troca de ferramentas, investir em elementos de fixação e aperto rápidos e eliminando ajustes.
- **Fase 5: Reduzir as atividades externas.** Mesmo não prejudicando o tempo de *setup*, estas atividades consomem tempo e recursos. Deve-se melhorar toda a logística de suporte à preparação e *setup*.

3. Metodologia adotada no estudo de caso

O presente artigo teve como objetivo a análise de uma família de produtos processados na máquina de estampar ASAHI-SUNAC. A escolha deste fluxo produtivo está relacionada com as características singulares da máquina, que torna quase impossível a transferência dos seus artigos para outra máquina. tornando-a num gargalo produtivo. A análise teve como propósito identificar oportunidades de melhoria, bem como pontos fracos e gargalos no processo de produção, e propor medidas de aperfeiçoamento para uma melhor eficácia e eficiência da máquina de estampar, otimizando assim o seu processo produtivo.

Para realizar este estudo, definiu-se a metodologia necessária. Inicialmente, realizou-se o mapeamento da cadeia de valor através da ferramenta VSM, onde se verificou a existência de tempos elevados de *setup* e desperdícios, o que originou a implementação do diagrama de Spaghetti, para uma análise do campo de ação, e a realização do SMED, para se conhecer as tarefas realizadas pelo colaborador.

Desta forma, os objetivos fundamentais foram tentar perceber e conhecer as várias etapas da produção da máquina para se conseguir chegar ao objetivo pretendido através da metodologia mencionada, dando assim uma visão mais completa do trabalho realizado ao longo deste relatório.

4. Métodos

4.1 VSM – Caracterização do estado incial

Através do mapeamento da cadeia de valor do artigo (Porca Sxt.Baixa Aço Zn M8), foi possível identificar o estado inicial, verificar onde se encontram os gargalos, e apresentar algumas melhorias para diminuir *o lead time.* A implementação do VSM teve início com o desenho de todas as fases do processo numa folha A3, desde o cliente, passando pelo controlo de produção até ao fornecedor. De seguida desenharam-se as etapas do processo produtivo, armazenamento e oxidação, decapagem mais lime, recozimento, decapagem mais fosfatação, estampagem, lavadora, roscagem, tratamento térmico, tratamento de superfície e por fim, inspeção e embalagem. Em reunião com o chefe do departamento, foi registado em cada etapa, o número de operadores, tempo de ciclo, tempo de setup, turnos e número de peças produzidas (apenas na estampagem). Desta forma consegue-se quantificar tempos e atividades que acrescentam ou não acrescentam valor ao processo.
Na Figura 1 apresenta-se o processo produtivo e na Figura 2 o VSM inicial.

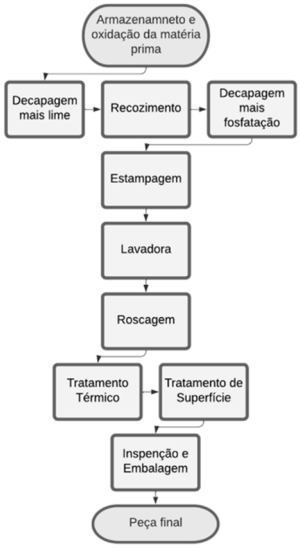


Figura 1: Processo Produtivo na empresa

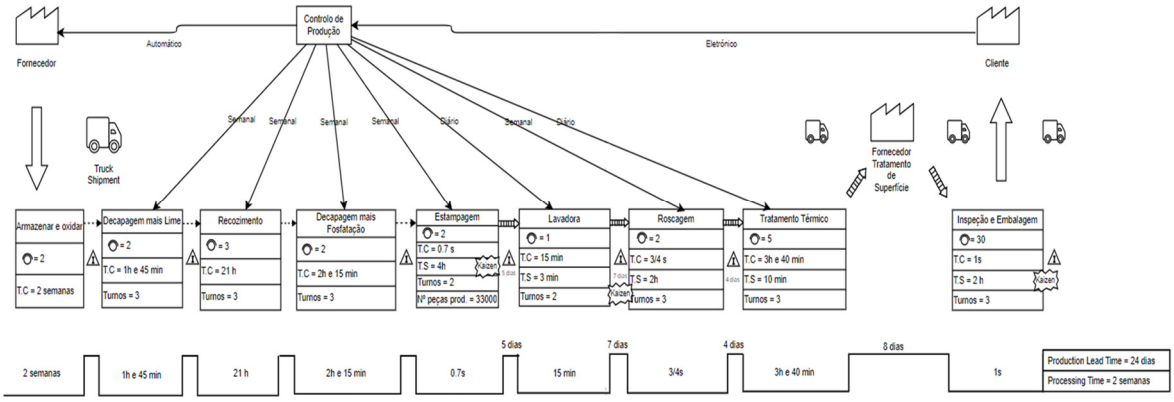


Figura 2: VSM inicial

Com a análise do VSM inicial identificou-se a existência de elevados *stocks* intermédios, entre operações, o que muitas vezes significa tempos de *setup* elevados ou linhas que não se encontram balanceadas. Numa segunda etapa, foram analisados os vários dados de cada processo, entre eles tempo de *setup* e tempo de ciclo. Com este processo é possível identificar que o tempo de *setup* na máquina de estampar era muito elevado, cerca de 4 horas. Isto despontou uma ação de melhoria sobre o tempo de troca de ferramenta na máquina ASAHI-SUNAC.

4.2 Aplicação do Diagrama de *Spaghetii*

Após a caracterização do estado inicial, o primeiro passo, consistiu na visita à máquina para conhecer as suas dimensões e compreender como são realizadas as tarefas pelo trabalhador, no momento da mudança de série. Recorreu-se a uma câmara de vídeo, para registar as etapas realizadas no setup. Com a cooperação do colaborador, colocou-se a câmara de vídeo no seu peito, para que os dados obtidos fossem o mais corretos possível. Foram recolhidas informações sobre tempos (em segundos) e tarefas, para posterior análise.

Sendo necessário começar a orientar as atenções para o problema da máquina de estampar, ASAHI-SUNAC. O segundo passo iniciou-se com a ajuda da ferramenta diagrama de Spaghetti para o campo de ação do colaborador no setup. Com a ajuda das filmagens, desenhou-se o diagrama de Spaghetti apresentado na Figura 3 para perceber o caminho percorrido pelo operador e a distância das suas movimentações, de forma a identificar movimentos

desnecessários, designado de retrabalho. A Figura 3 mostra a coexistência de linhas perto da máquina, evidenciando a eficiência do operador e a sua permanência junto da máquina durante o setup. Contudo, existiam algumas deslocações desnecessárias, nomeadamente retrabalho relacionado com ações de apoio repetidas. Um exemplo concreto: durante a desmontagem do bloco das matrizes, o operador, para as retirar, precisava de desapertar na parte superior e inferior da máquina. Através das filmagens, notou-se que esta ação não foi bem-sucedida, na sua primeira realização, o que resultou em deslocações demoradas e que necessitaram de repetição.

As ações de retrabalho, repetidas e demoradas, a longo prazo prejudicam o tempo de produção da máquina. O retrabalho deve ser alvo de atenção e eliminado, permitindo a redução do tempo de setup, e, por conseguinte, valorizando a produção correta da máquina.

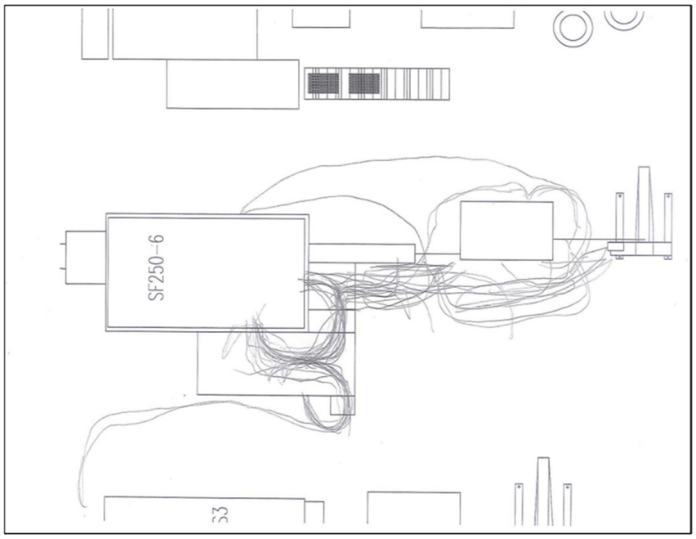


Figura 3: Diagrama de Spaghetti

4.3 Implementação da metodologia SMED

Como referido anteriormente, era necessário implementar uma ação de melhoria para reduzir o tempo de setup, uma vez que se verificou que não havia distinção entre atividades internas e externas no setup inicial. Após a recolha de toda a informação necessária, procedeu-se à implementação do SMED.

Primeiramente, após a análise das filmagens descreveu-se o processo de mudança e registou-se numa folha de cálculo (Excel) a sequência de todas as ações realizadas pelo operador bem como o tempo gasto em cada ação. Através desta descrição das ações foi possível identificar movimentações desnecessárias, desperdícios e retrabalho.

O setup inicial, mencionado previamente, é constituído por duas fases, a desmontagem mais limpeza e montagem mais afinação, cujos tempos se resumiram na Tabela 1 e Tabela 2.
Na Tabela 1, encontra-se uma parte de todas as ações, bem como o tempo despendido em cada uma, concluindo-se que já existe uma pequena distinção entre atividades internas e externas, apesar de que na maior parte das tarefas, estes dois conceitos se confundem. Ainda assim, consegue-se mostrar que 2% das tarefas são externas.

Tabela 1: Ações registadas durante a desmontagem do Transfer

Pontos	Operação	Tempo no vídeo	Tempo da Operação
Limpeza	Limpeza		00:05:19
Transfer + Limpeza	Subiu para a Máq.	00:00:10	00:00:10
	Fechou porta	00:00:17	00:00:07
	botão para levantar transfer	00:00:37	00:00:20
	levantou porta	00:00:56	00:00:19
	fechou porta	00:01:00	00:00:04
	mexeu computador	00:01:14	00:00:14
	esperou	00:02:04	00:00:50
	rodou botão	00:02:07	00:00:03
	abriu porta	00:02:12	00:00:05
	rodou botão	00:02:20	00:00:08
	puxou pinças para fora (Rodou o transfer para fora)	00:02:27	00:00:07
	rodou botão	00:02:29	00:00:02
	carregou botão	00:02:31	00:00:02
	tirou mangueira e começou a limpar	00:02:42	00:00:11
	arrumou mangueira	00:03:38	00:00:56
	foi buscar magueira do óleo	00:03:48	00:00:10
	encaixou a mangueira no desengordurante	00:03:57	00:00:09
	pousou desengordurante	00:04:02	00:00:05
	começou a montar a 1ª mangueira azul	00:04:04	00:00:02
	encaixou a mangueira no desengordurante e limpou	00:04:20	00:00:16
	pausa	00:04:44	00:00:24
	retomou	00:04:48	00:00:04
	parou de limpar	00:06:21	00:01:33
	retomou	00:06:26	00:00:05
	parou	00:06:49	00:00:23
	entrou dentro da máq.	00:06:53	00:00:04
	trocou mangueira do ar de outro sitio	00:07:02	00:00:09
	encaixou essa mangueira do ar	00:07:17	00:00:15
	voltou a limpar	00:07:33	00:00:16
	parou	00:09:36	00:02:03

A mudança de ferramenta na máquina caracterizava-se por ser dividida em duas fases, a primeira, desmontagem mais limpeza e a segunda, montagem mais afinação Tabela 2. O tempo de setup total desta máquina é de 3 horas e 31 minutos. A desmontagem mais limpeza é representada na
Tabela 3 e a Montagem mais afinação na Tabela 4.

Tabela 2: Setup Inicial

TEMPO POR OPERAÇÃO	INICIAL
Desmontar + Limpeza	01:20:03
Montagem + Afinação	02:11:30
Total	03:31:33

Tabela 3: Fases da Desmontagem mais limpeza

DESMONTAR +LIMPEZA	INICIAL
Transfer	00:27:35
Porta Punções	00:08:46
Matriz	00:23:23
Trefiladora	00:04:36
Máquina Total	00:15:43
Total	01:20:03

Tabela 4: Fases da Montagem mais afinação

MONTAGEM	ATUAL
Matriz	00:14:04
Porta Punções	00:18:33
Trefiladora	00:35:02
Transfer	00:50:38
Máquina Total	00:13:13
Total	02:11:30

Etapa Preliminar: Identificação

Nesta primeira fase, identificaram-se as atividades internas e externas. As atividades internas são aquelas que só se pode realizar com a máquina parada, ao contrário das tarefas externas que podem ser realizadas durante o funcionamento da máquina. (Pinto, 2009). No estado inicial, existe apenas um colaborador para realizar todas as funções de uma mudança de ferramenta, tendo de parar por completo de produzir para preparar uma máquina. Desta forma e como se consegue perceber pela Figura 4, 98% das atividades, no estado inicial, são internas, ou seja, as tarefas são feitas com a máquina parada.

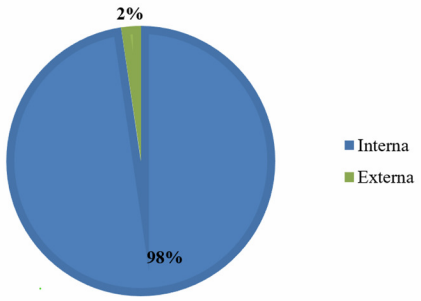


Figura 4: Análise do processo: percentagens de atividades internas e externas

Etapa 1- Separação

Após a análise do ponto da situação, a etapa seguinte do projeto, baseou-se na separação das atividades, passando as tarefas externas para antes do *setup* ou após o *setup*, como se ilustra na Figura 5 e Figura 6. Na Tabela 5, é apresentado o tempo total da mudança de ferramenta, inicial e após a separação. Apenas com a separação das atividades, o tempo do *setup* reduziu cerca de 2%.

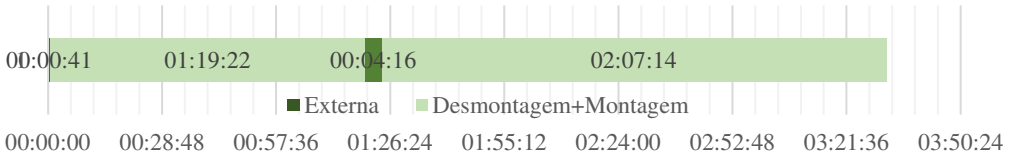


Figura 5: Atividades antes da Etapa 1: Separação

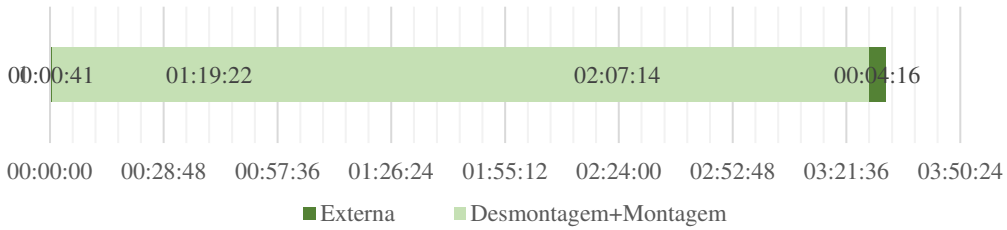


Figura 6: Atividades após a Etapa 1: Separação

Tabela 5: Tempo total do setup inicial e do setup na 1ª etapa do SMED

Tempo por operação	Inicial	Etapa 1- Separação	
Limpeza	00:00:00		
Desmontar + Limpeza	01:20:03	01:19:22	
Montagem + Afinação	02:11:30	02:07:14	Total de Redução do Tempo de *Setup*
Total	03:31:33	03:26:36	2%

Etapa 2- Conversão

Nesta etapa o grande objetivo é a conversão das atividades internas em externas, todas as atividades presentes no *setup,* foram classificadas como "muda" ou "necessária".

Aqui, tentou-se perceber se era possível tornar uma atividade interna em externa. A maioria das atividades, estavam como internas, por exemplo, o operador para limpar tinha que usar um "desengordurante de volume pequeno" representado na Figura 9. A reduzida capacidade do recipiente do desengordurante traduzia-se em paragens constantes para o operador voltar a enchê-lo, algo que foi apontado para ser melhorado. Por comparação da Tabela 5 com a Figura 7 é possível concluir que após a conversão das atividades internas em externas, houve um aumento de quase 24% das atividades externas (Figura 8) em relação à etapa preliminar (Figura 4), algo significativo e que poderá trazer muitas vantagens. Após a tornar externas as atividades possíveis, os tempos de execução são o que se apresentam na Figura 7.

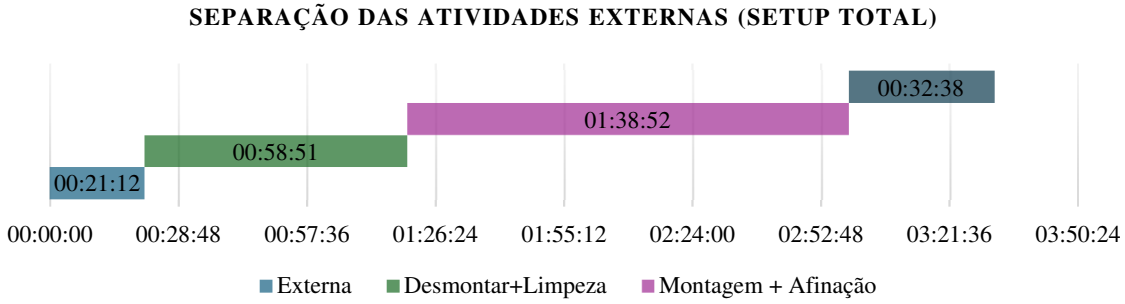


Figura 7: Conversão das Operações

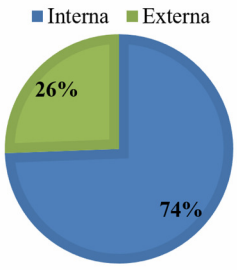


Figura 8: Análise de operação, após a conversão das tarefas internas em externas



Figura 9: Desengordurante

Etapa3- Simplificação

Separadas as atividades e convertidas, a próxima etapa assenta no melhoramento do tempo das atividades internas ou mesmo na sua eliminação. Nesta fase, voltou-se a analisar as gravações, a tentar perceber quais das atividades internas eram "muda" ou "necessária" e se podiam ser realizadas em menor tempo ou não. Por exemplo, o operador tinha muitos tempos de espera pela resposta do computador, o que poderia ser reduzido, seja por treinamento ou

alteração tecnológica. Foram atribuídos novos tempos para este caso, de acordo com o que se achou fazer sentido. Noutro caso, na montagem do porta-punções, o colaborador deslocou-se até à outra parte da máquina para apertar uns ganchos no porta-punções, para o levantar (Figura 10). Depois de levantar o porta-punções, só por um bocadinho, logo de seguida voltou a baixá-lo e voltou à posição que estava anteriormente. Foi uma atividade onde gastou tempo desnecessariamente, ou seja, será uma atividade que será eliminada.
Com estes ajustes seria possível passar de 2 horas e 37 minutos para 2 horas e 23 minutos. Salienta-se que estes números não são números reais, são uma proposta.
O gráfico da Figura 11 a comparação dos tempos atuais com os tempos da melhoria. A desmontagem mais limpeza passou de 1 hora e 20 minutos para 52 minutos e a montagem mais afinação, passaria de 2 horas e 11 minutos para 1 hora e 31 minutos. Em percentagem, a melhoria proposta permite reduzir 32% do tempo de *setup*. De certa forma, esta redução de um terço do tempo de *setup* irá trazer bastantes benefícios na produtividade da máquina.



Figura 10: Ganchos para levantar porta-punções

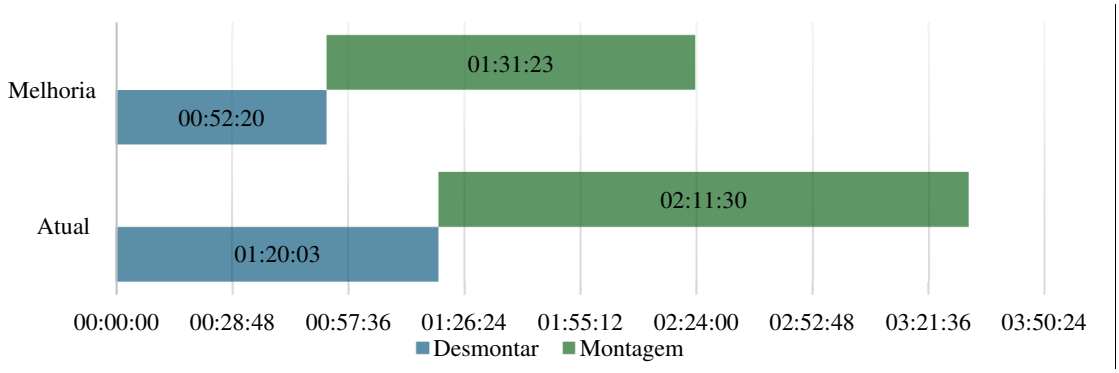


Figura 11: Gráfico de comparação entre o tempo inicial e o tempo de melhoria proposto

5. Propostas de Melhoria

Chegando ao fim de todas as etapas do SMED, e no desenrolar da sua implementação, foi possível, criar propostas de melhorias para a redução dos tempos do *setup*, observou-se que a divisão de tarefas é uma das grandes propostas de melhoria, uma vez que o tempo de *setup* é demasiado elevado. Mesmo após a separação das atividades, conversão de tarefas internas para externas e da redução de tempo de algumas atividades internas, o tempo de *setup* continuava a ser longo. Deste modo, pensou-se na opção de ter mais um operador na mudança de série. Com os dados obtidos da separação, da conversão e da redução dos tempos das atividades, separou-se cada etapa da mudança de série pelos dois colaboradores e fez-se o estudo.

Primeiramente, foi realizado um estudo, para tentar perceber se alguma destas tarefas poderia ser feita com duas pessoas, e de que modo o poderiam fazer. Dado que algumas partes da máquina têm um espaço reduzido, muito dificilmente seria rentável estarem duas pessoas no mesmo local, tornado o espaço de trabalho propício à não realização das tarefas, portanto, seria mais simples realizarem tarefas diferentes. Segue-se a proposta de divisão de tarefas.

Na desmontagem mais limpeza, ilustrada na Figura 12, o operador 1 ficou com o transfer (16 minutos e 5 segundos), trefiladora (2 minutos e 46 segundos) e máquina total (12 minutos e 31 segundos) que dá um tempo total de 31 minutos e 22 segundos para o operador 1. Já o operador 2 ficou com: porta-punções (5 minutos e 3 segundos) e matriz (15 minutos e 55 segundos) que lhe dá um tempo de operação de 20 minutos e 58 segundos, ou seja, o tempo da desmontagem mais limpeza, irá ser o maior tempo entre os dois operadores, neste caso o tempo de operação do colaborador 1, 31 minutos e 22 segundos.

Passando para a montagem mais limpeza, apresentada na Figura 13, dividiu-se novamente as tarefas pelos dois colaboradores. O operador 1 ficou com matriz (13 minutos e 11 segundos) e trefiladora (29 minutos e 36 segundos) tendo assim, um tempo de operação de 42 minutos e 47 segundos. O operador 2 ficou responsável pela montagem e afinação do porta-punções (17 minutos e 54 segundos), transfer (21 minutos e 16 segundos) e máquina total (9 minutos e 26 segundos) no total de 48 minutos e 36 segundos de operação. Assim sendo, o tempo total da montagem mais afinação, será de 48 minutos e 36 segundos, o maior tempo de operação.

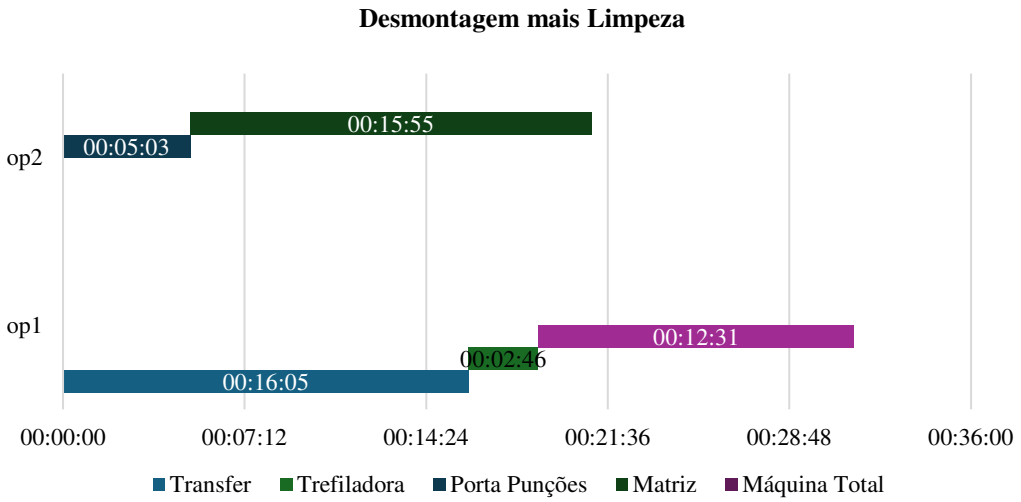


Figura 12: Tempos de tarefas na Desmontagem mais Limpeza

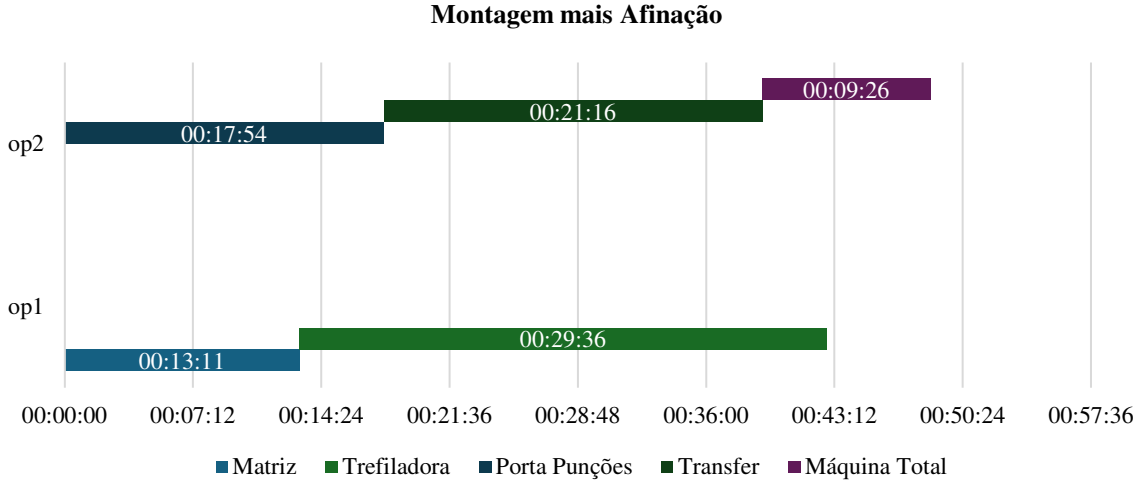


Figura 13: Tempos de tarefas na Montagem mais Afinação

Sendo uma máquina com dimensões grandes e com numerosas tarefas no setup e só um operador para realizar todas as funções, é normal ter um tempo de mudança de ferramenta tão elevado. Isto acontece apesar do operador saber o que tem de fazer, bem como as ferramentas que precisa, o que foi possível perceber através do diagrama de Spaghetti.
Por outro lado, dado os dados apresentados, ao ter mais que um colaborador a redução do tempo total de setup seria enorme: passaria a ser de 1 hora e 19 minutos, uma diminuição de 62 %. Na Tabela 6.1 encontra-se o tempo inicial do setup e tempo de cada operador em cada fase da mudança de série, bem como os tempos finais.

Tabela 6: Tempos da divisão de tarefas

		Divisão de tarefas (realizada com os dados obtidos após todas as fases do SMED)		
Tempo por operação	**Inicial**	**Op1**	**Op2**	**TOTAL**
Desmontar + Limpeza	01:20:03	01:20:03	00:20:58	00:31:22
Montagem + Afinação	02:11:30	00:42:47	00:48:36	00:48:36
TOTAL	03:31:33	01:14:09	01:09:34	01:19:58

5.1 Outras Propostas de Melhoria

Ao implementar o SMED e ao longo da realização de cada etapa, foi possível apontar oportunidades de melhoria para otimizar os processos.
Começando pela primeira parte do setup, desmontagem mais limpeza, foi possível perceber que uma das ações onde se perdia tempo era a encher o recipiente do desengordurante (Figura 9) e a trocar a mangueira apresentada na Figura 14 (para limpar com o desengordurante ou com o ar). O recipiente utilizado para o desengordurante apresenta um tamanho não muito grande, face ao número de vezes que é utilizado, sendo necessário estar constantemente a enchê-lo, ou seja, é uma tarefa que pode ser mudada se houvesse um recipiente com medidas maiores. As propostas de melhoria seriam: comprar um depósito maior, para não estar constantemente a encher, e comprar um sistema de ar com duas saídas, para não se perder tempo na troca da mangueira.

Uma outra proposta de melhoria seria colocar o recipiente, onde se encontra o líquido para encher o depósito do desengordurante, mais perto da máquina e devidamente identificado (5S-Seiton). Num dos vídeos o operador tem de sair da máquina e ir até ao recipiente, como mostra a Figura 15. Reparou-se que assim que chegou ao local para encher o recipiente, todos os potes que lá estavam tinham a sua identificação ilegível. A ilegibilidade das etiquetas é perigosa para o operador e máquina, podendo ocorrer alguma troca de líquidos que seriam usados para um propósito errado.



Figura 14: Troca de mangueira

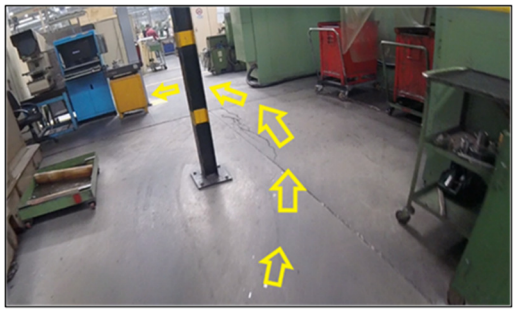


Figura 15: Caminho que o operador tem de percorrer

Apesar do colaborador saber o locar dos instrumentos necessários para realizar as tarefas, verificou-se que algumas ferramentas estavam desorganizadas e num aglomerado (Figura 14). Nesta situação, um quadro sombra (5S) seria um auxílio facilitando o trabalho e reduzindo o tempo de procura pela ferramenta necessária ao operador. Na segunda parte do setup, na montagem mais afinação, antes do operador começar a montar o suporte das pinças, este mede as peças e escolhe as que precisa (Figura 17). Este foi um aspeto que se apontou como algo a melhorar, uma vez que esta tarefa já podia estar feita, antes de iniciar o setup. Na etapa dois do SMED esta tarefa foi convertida a externa.

Em suma, ao ter em atenção cada uma destas propostas de melhoria, é possível otimizar de uma maneira eficaz o processo produtivo, originado uma maior eficiência e qualidade operacional.

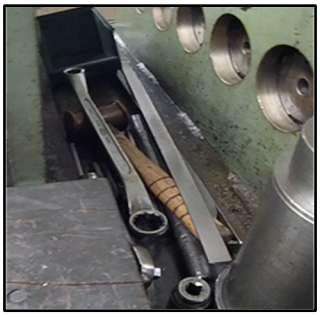


Figura 16: Ferramentas desarrumadas



Figura 17: Escolha da peça

6. Resultados Obtidos

Após a realização desta análise, são apresentados de forma clara resultados que se podem obter com a implementação das propostas de melhorias apresentadas. É importante salientar que estes resultados são baseados apenas no estudo realizado, não existindo dados empíricos para comprovação. A Figura 18 e a Figura 19, mostram de uma forma resumida a diminuição do tempo do *setup*, ao longo de cada etapa.

Os resultados apresentados nos gráficos evidenciam que as melhorias propostas têm bastante potencial para trazerem benefícios significativos para a empresa. Ao observar os gráficos presentes, é possível visualizar uma diferença significativa entre as etapas iniciais e finais do processo. Estes resultados comprovam que, com as possíveis mudanças sugeridas, consegue-se otimizar o processo produtivo de uma forma simples. Só com a simples separação das atividades internas das externas, são observados resultados positivos.

Contudo, a divisão de tarefas destaca-se, uma vez que, para além de reduzir o tempo de setup, desperta motivação nos colaboradores ao proporcionar uma carga de trabalho mais equilibrada, promovendo também o bem-estar dos colaboradores, criando um ambiente de trabalho mais equilibrado e motivador. Além disso, aumenta a produtividade e melhora a qualidade do processo. Embora os dados obtidos sejam teóricos, acredita-se que os tempos obtidos após a implementação destas propostas de melhoria iriam ser semelhantes.
Em suma, os resultados do estudo do SMED apontam para uma evolução positiva na otimização do processo produtivo, com potencial para aumentar a eficácia e eficiência da máquina de estampar ASAHI-SUNAC.

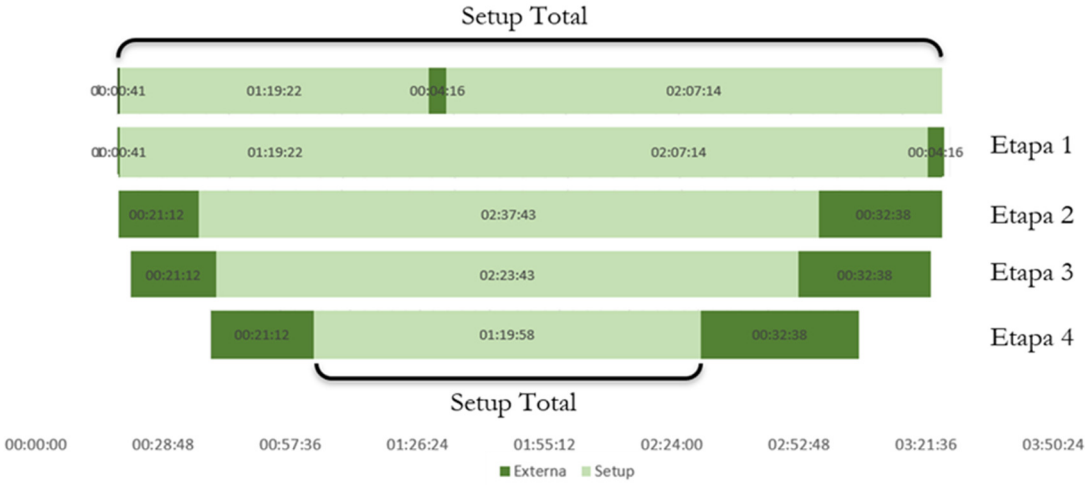


Figura 18: Evolução do tempo de Setup

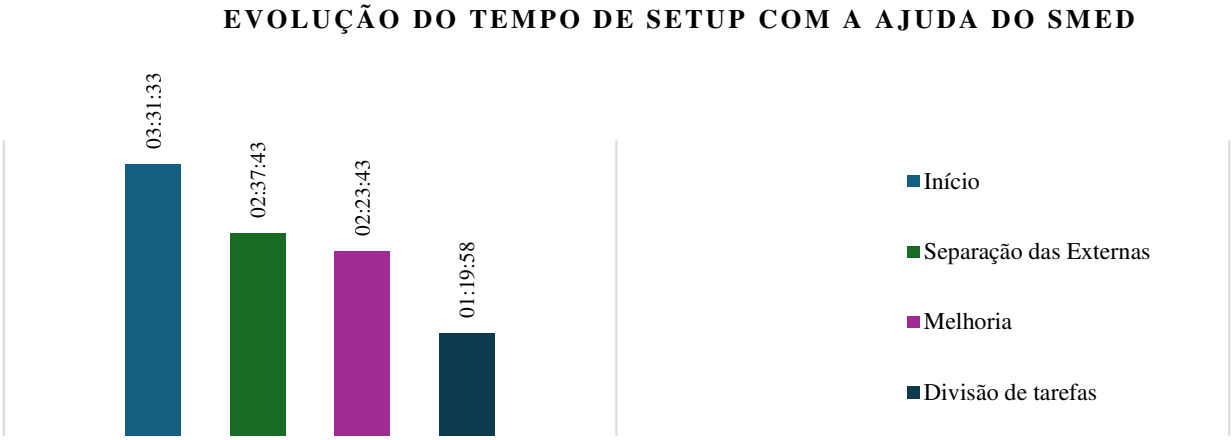


Figura 19: Evolução do tempo de Setup (gráfico de barras)

7. Conclusões

No decorrer do projeto que deu origem a este trabalho, foi evidente que pequenas mudanças podem resultar em ganhos significativos. Através da realização do mapeamento da cadeira de valor para o artigo produzido na ASAHI-SUNAC, identificou-se gargalos e desperdícios, o que permitiu estabelecer objetivos concretos e direcionar as atenções para aumentar a eficácia e eficiência do processo produtivo.
A implementação do diagrama de Spaghetti e da metodologia SMED (Single-Minute Exchange of Die), foram ferramentas importantes para o melhoramento dos processos e redução dos tempos elevados de setup, assim como na criação de propostas de melhorias.

Numa análise global, foi possível otimizar o processo produtivo da máquina ASAHI-SUNAC. Os resultados preliminares obtidos são promissores e indicam o potencial significativo que essas melhorias, e a implementação completa de todas as propostas de melhoria sugeridas, podem trazer para a empresa.
No entanto, é importante destacar que a otimização do processo produtivo não é um objetivo único e potencial, mas sim um compromisso contínuo com a melhoria contínua. Ao reconhecer a importância da eficiência e eficácia nas operações, cria-se uma base sólida para o sucesso sustentável de qualquer empresa. Simultaneamente, com a contínua aplicação dos princípios da filosofia Lean, na procura constante de oportunidades de melhoria, é criado um ambiente propício para o crescimento, inovação e superação de desafios nas empresas.

Este artigo apresenta uma visão clara do contexto, dos desafios enfrentados e das ações tomadas para otimizar o processo produtivo da máquina ASAHI-SUNAC. As descobertas obtidas ao longo deste projeto serviram como base para aprimorar os processos produtivos e promover a melhoria contínua bem como, o sucesso da empresa. O trabalho desenvolvido destacou a importância da otimização do processo produtivo e da aplicação das ferramentas Lean.

Referências

Bengtsson, M., & Osterman, C. (2014, September). IMPROVEMENTS IN VAIN - THE 9th WASTE. *Swedish Production Symposium*.

Chahal, V., & Narwal, M. (2017). Impact of Lean Strategies on Different Industrial Lean Wastes. In *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics* (Vol. 12, Issue 2). http://www.ripublication.com

Drews, T., Molenda, P., Oechsle, O., & Koller, J. (2020). Manufacturing system optimization with lean methods, manufacturing process objectives and fuzzy logic controller design. *Procedia CIRP*, *93*, 658–663. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.145

Esteves, A., Costa, A., Terra, H., & Alves, N. (2015). *Balanceamento da linha de pintura na KIRCHHOFF Automotive Portugal Relatório do Projeto*.

Jadhav, P., & Ekbote, N. (2021). Implementation of lean techniques in the packaging machine to optimize the cycle time of the machine. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 10275–10281. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.162

Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, *54*(6), 1708–1720. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349

Lean Enterprise Institute. (2023). *Casa-Toyota Production System*. https://www.lean.org/lexicon-terms/toyota-production-system/

Leming-Lee, T. S., Polancich, S., & Pilon, B. (2019). The Application of the Toyota Production System LEAN 5S Methodology in the Operating Room Setting. In *Nursing Clinics of North America* (Vol. 54, Issue 1, pp. 53–79). W.B. Saunders. https://doi.org/10.1016/j.cnur.2018.10.008

Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, *83*(6 A), 662–673. https://doi.org/10.1205/cherd.04351

Pinto, J. P. (2009). *Pensamento LEAN: A filosofia das organizações vencedoras* (Lidel-Edições Técnicas, Ed.; 6ª edição).

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. (2017a). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1034–1042. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.110

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. (2017b). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1034–1042. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.110

Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, *97*, 1875–1885. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341

Torielli, R. M., Abrahams, R. A., Smillie, R. W., & Voigt, R. C. (2011). *Using lean methodologies for economically and environmentally sustainable foundries*.

Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, *22*, 900–905. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127

ID45
A Integração da Transformação Digital na Gestão de Ativos nas Empresas Nacionais

S. Messias ([1]), A. Guimarães ([2,3]), H. Raposo ([4]), D. Gaspar ([5])
samueltmessias@gmail.com, aguimaraes@estgv.ipv.pt, hugo.raposo@isec.pt, danigaspar@estgv.ipv.pt

([1]) ISEC – Higher Institute of Engineering of Coimbra, Polytechnic Institute of Coimbra, Portugal
([2]) CISeD - Research Centre for Digital Services - Polytechnic Institute of Viseu, Portugal
([3]) CISE – Electomechatronic Systems Research Centre - University of Beira Interior, Portugal
([4]) RCM^{2+} Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra Institute of Engineering, Portugal
([5]) CISeD – Research Centre for Digital Services - Polytechnic Institute of Viseu, Portugal

Resumo

Este artigo explora a importância e a integração das novas tecnologias emergentes na Gestão de Ativos nas empresas nacionais, com base nas respostas obtidas através de um questionário aplicado a 50 profissionais das diferentes áreas e departamentos destas empresas. A transformação digital tem revolucionado diversos setores, e a Gestão de Ativos não é exceção, oferecendo novas soluções, novas formas de otimização de operações, alternativas e diferentes possibilidades de reduzir custos e aumentar a eficiência. É estudado, também, através da adaptação de modelos de maturidade, o nível de Gestão de Ativos e o nível da Transformação Digital das empresas, bem como perceber se as empresas são certificadas pela ISO 55001 e se, por consequência, têm um sistema da gestão de ativos integrado. Com este questionário sobre a Transformação Digital na Gestão de Ativos, pretende-se aferir se a adoção de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), Big Data e softwares para a Gestão de Ativos, podem auxiliar ou não na Gestão dos ativos das empresas. Os resultados indicam uma crescente consciencialização sobre os benefícios da digitalização desta área tão emergente, no entanto, problemas como a resistência à mudança, a falta de competências específicas e falta de conhecimento sobre a Gestão de Ativos e sobre o seu sistema de gestão, ainda persistem.

Palavras-Chave: Gestão de Ativos; Transformação Digital;

1. Introdução

As novas tecnologias têm em emergido muito rapidamente nos últimos tempos, tornando-se cada vez mais crucial na modernização e optimização dos processos empresariais. A adoção de tecnologias inovadoras está a redefinir a gestão de ativos. No contexto das empresas nacionais, a Gestão de Ativos tem sido uma área de grande transformação, impulsionada pelas novas ferramentas digitais. Através da adaptação de modelos de maturidade, é estudado, o nível de Gestão de Ativos e o nível da Transformação Digital das empresas, bem como perceber se as empresas são certificadas pela ISO 55001 e se, por conseguinte, têm um sistema de gestão de ativos integrada.

O questionário sobre a Transformação Digital na Gestão de Ativos, pretende aferir se a adoção de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), Big Data e softwares para a Gestão de Ativos, podem auxiliar ou não na gestão dos activos das empresas. Este estudo pretende percecionar, como essas tecnologias podem otimizar processos, reduzir custos e melhorar a eficácia geral na gestão de ativos.

O artigo, explora a integração da Transformação Digital na Gestão de Ativos, através de um questionário dirigido a profissionais de várias empresas nacionais. Através da análise das respostas (aproximadamente 50), foi possível perceber, como as novas tecnologias, tais como como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA) e os sistemas de Gestão de Ativos estão a ser integradas, revelando tendências, desafios e oportunidades neste contexto específico.

2. Revisão da Literatura

2.1. Gestão de Ativos

A gestão de ativos tem como objetivo principal otimizar o valor e o desempenho de determinado ativo, diminuindo custos associados e maximizando a sua utilização (Gaspar et al., 2022). Esta é considerada uma das áreas essenciais numa empresa que possua um número significativo de ativos ou ativos de elevado valor, pois uma gestão eficaz pode resultar numa melhoria do desempenho operacional do ativo, numa maior redução de custos e num aumento da eficiência (Cóppola, 2020).

A gestão de ativos consiste em gerir os recursos de uma empresa, incluindo os financeiros, físicos e intangíveis. Tem como objetivo principal otimizar o valor e o desempenho de determinado ativo, diminuindo custos associados e maximizando a sua utilização. Este conceito surgiu da necessidade de otimizar os custos, reduzir os riscos e maximizar o desempenho ao longo do ciclo de vida (Gaspar et al., 2022; Sobral & Tancredo, 2023).
A gestão de ativos está mais centrada numa boa gestão de práticas e na aplicação técnico-financeira, de forma a decidir quais os ativos necessários para cumprir os objetivos propostos pela organização. Para implementar uma boa gestão de ativos, é necessário ter em conta o desempenho e os riscos associados à sua gestão, sendo crucial garantir a sustentabilidade neste processo, o que é fundamental para o funcionamento eficaz de qualquer organização ou processo (Coelho, 2015).

A norma EN ISO 55000 (2014), define um ativo como: "Um item, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização", sendo a gestão de ativos definida como "Atividade coordenada de uma organização para realizar o valor dos ativos". Contudo, a mesma norma define Ativos Físicos como: "Itens, como instalações, máquinas, edifícios, estradas, veículos, caminhos de ferro, aviões, oleodutos, cabos, equipamentos de comunicação e outras infraestruturas".
Podem ser considerados ativos: edifícios, máquinas, instalações fabris, veículos, softwares, contratos, E-books, infraestruturas, tecnologias da informação, conhecimento, investimentos, entre outros (Evans & Price, 2020). Os ativos podem ser agrupados em diferentes grupos, como demonstrado por (Pereira et al. (2023):

- Ativos Físicos – Estes existem para acrescentar valor à organização e aos seus acionistas, podem ser considerados como ativos físicos: máquinas, instalações, estradas, veículos, edifícios, entre outros;
- Ativos Humanos – São os seres humanos, dotados de características únicas e conhecimentos, capazes de desempenhar uma infinidade de tarefas;
- Ativos Financeiros – São os investimentos e recursos financeiros necessários para adquirir, por exemplo, outros tipos de ativos e desempenhar determinadas tarefas;
- Ativos de Informação – Considera-se a qualidade e quantidade de informação para gestão de ativos. São recursos valiosos relacionados com informação e os dados dentro de uma organização. Estes podem incluir qualquer forma de informação ou dados digitais que sejam essenciais para as operações e estratégias da empresa;
- Ativos Intangíveis – Todos aqueles ativos que não são tangíveis, ou seja, não possuem forma ou substância física, como softwares e, licenças, franquias, direitos de autor, capital intelectual, entre outros.

No mundo empresarial, a gestão de ativos tem sido uma prática comum ao longo do tempo, mesmo antes de existirem conceitos e normas específicas sobre o assunto. Nos anos 80, no Reino Unido, o setor petrolífero e de gás reconheceu a necessidade de uma gestão eficaz dos ativos físicos para lidar com os riscos e alcançar eficiência financeira. Esta perceção surgiu após o acidente na plataforma petrolífera "Piper Alpha", no Mar do Norte, que resultou na morte de 167 trabalhadores devido a problemas de manutenção. Este evento, aliado à queda nos preços do petróleo, motivou a indústria a adotar uma abordagem mais abrangente na gestão de ativos ao longo do ciclo de vida, o que trouxe melhorias significativas em termos de eficiência, segurança e produtividade (Jones et al., 2014).

Em 2004, com desenvolvimento desta temática, foi publicada a Publicly Available Specification 55 (PAS 55) pelo British Standard Institute (BSI). Esta é uma especificação que apresenta definições, terminologia e requisitos que auxiliam as organizações na implementação do sistema de gestão. Em 2008, mais de 50 organizações públicas e privadas, abrangendo 10 países e 15 setores, contribuíram para a especificação, juntamente com o feedback dos utilizadores (PAS 55, 2008).
Após o lançamento do PAS 55, em 2014, o Institute of Asset Management (IAM) em conjunto com o BSI produziram normas internacionais através da Organização Internacional de Normalização (ISO), as três normas internacionais ISO 500xx (ISO 55000, 55001 e 55002). Estas normas adquirem agora importância porque constituem um consenso global sobre a gestão de ativos e o seu papel no aumento do valor gerado por todas as organizações (Ma et al., 2014; PAS 55, 2008).

2.2. Transformação Digital

A Digitalização é designada pelo processo no qual as empresas adotam novas tecnologias para melhorarem a todos os níveis, como operações, serviços e processos, de modo a adaptarem-se e a manterem a competitividade. Sendo assim, é importante que exista uma mudança que envolva a integração de novas tecnologias nas diversas áreas de uma empresa (Anifa et al., 2022; Green, 2020).
A transformação digital apresenta diversas oportunidades para melhorar a qualidade de vida nas cidades, nomeadamente ao otimizar a operacionalidade das infraestruturas urbanas, reduzir custos e aprimorar a qualidade dos serviços. Desenvolver um enquadramento para esta transformação visa fornecer uma estrutura clara para organizações e governos interessados, identificando questões-chave e boas práticas a seguir (Lafioune et al., 2023; Wang & Yin, 2022).
O processo de digitalização inclui tanto o aumento da utilização da robótica, como soluções de automatização e informatização, permitindo assim reduzir custos, melhorar a eficiência e a produtividade, e ser flexível às mudanças (Hole et al., 2021).

A Indústria 4.0 está relacionada à integração das tecnologias, sendo a origem do processo de transformação digital na indústria (Anifa et al., 2022). As necessidades de operações físicas complexas e repetitivas foram reduzidas, aumentando a procura por mão de obra altamente qualificada (Pylaeva et al., 2022). Além disso, houve mudanças nos padrões de recrutamento e na organização do trabalho (Branca et al., 2020; Wang & Yin, 2022). A Indústria 4.0 aborda a interoperabilidade, descentralização da informação, recolha de dados em tempo real e maior flexibilidade, representando os principais aspetos da quarta revolução industrial. Iniciou-se com a mecanização na primeira revolução industrial, seguida pela introdução da eletricidade na segunda e pela automação com Tecnologia da Informação na terceira. A quarta revolução industrial destaca-se pela interligação de novas tecnologias nos processos, com um foco predominante no desenvolvimento digital sobre o físico (Jan et al., 2023; Matyi et al., 2020), conforme ilustra a Figura 1.

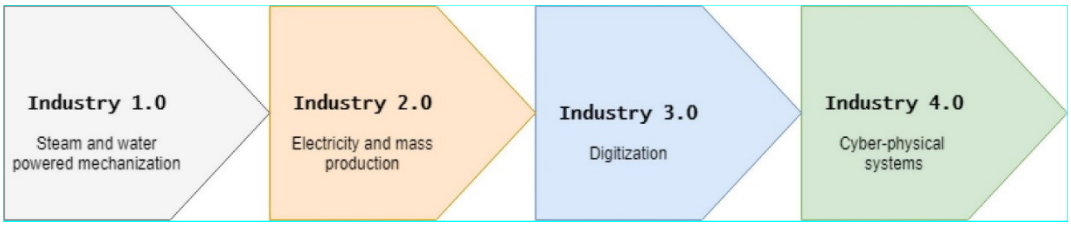


Figura 1. Revoluções Industriais (Jan et al., 2023).

A Transformação Digital, parte integrante da última revolução industrial, engloba uma vasta gama de conceitos, como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Automatização de Processos e Realidade Aumentada. Estas tecnologias têm sido fundamentais para melhorar a eficiência operacional, aumentar a produtividade e aprimorar a tomada de decisões nas organizações (Kone, 2019; Oliveira, 2020). As Tecnologias Facilitadoras Chave (KETs), como sensores avançados, Big Data, Aprendizagem Automática (Machine Learning - ML), Mecatrónica, Robótica Avançada Computação em Nuvem, Cibersegurança, Fabricação Aditiva, Gémeo Digital e Comunicação Máquina a Máquina (M2M), têm impulsionado ainda mais esses benefícios, promovendo um crescimento e desenvolvimento substanciais das organizações (Branca et al., 2020; Matyi et al., 2020; Okorie et al., 2023).

2.3. Gestão de Ativos e Transformação Digital

A gestão de ativos envolve vários processos que necessitam de uma intensa utilização de dados, bem como uma necessidade constante de recolha e análise dos mesmos para apoiar a tomada de decisão. Com o acesso às ferramentas digitais, esta necessidade está a impulsionar a transição para sistemas de infraestruturas digitais e inteligentes. A utilização de sensores mais pequenos, poderosos e acessíveis, juntamente com avanços tecnológicos, tanto a nível computacional, como também nas soluções para transferência, armazenamento e gestão de dados, podem proporcionar novas capacidades para a tomada de decisões e oportunidades para melhorar a eficiência nas redes de infraestrutura (Vieira et al., 2022).

Evans & Price (2020) definiram que, a Gestão de Ativos de Informação (GAI) é fundamental para o sucesso da Transformação Digital (DT) nas organizações e desenvolveram um modelo holístico de GAI que sublinha a necessidade de tratar dados, informações e conhecimento não só como recursos tecnológicos, mas como ativos

empresariais vitais para prosperar num contexto digital. Os autores destacam que a GAI é um componente crítico para a DT, diferenciando-a da gestão da Tecnologia da Informação (TI) ao focar na criação e uso eficaz das informações. Evans e Price defendem que a GAI deve ser vista como uma disciplina independente da TI, essencial para impulsionar o desempenho do negócio. A eficácia na gestão dos ativos de informação é crucial para o sucesso da DT, sendo um dos pilares fundamentais de qualquer projeto de transformação ou mudança organizacional, tornando as empresas mais competitivas e rentáveis.

A Gestão de Ativos de Informação e a Transformação Digital são exploradas com referência a contribuições significativas de diversos autores. Drucker (2012) realça os ativos de informação como o recurso mais significativo. Bontis et al. (1999) e Attencia (2020), consideram esses ativos como impulsionadores do valor empresarial. Laney (2017) enfatiza a necessidade de incluir os ativos de informação em relatórios financeiros. Roe (2019) aborda a gestão da informação como crucial para a transformação digital. Estes autores ajudam a compreender que uma gestão eficaz de ativos de informação é essencial para o sucesso da transformação digital e para manter vantagens competitivas no mercado atual.

A Transformação Digital pode proporcionar uma estrutura que melhora o desempenho ao recolher e integrar informações dos ativos no processo de tomada de decisão (Attencia, 2020). Os recursos tecnológicos incorporados nos ativos permitem melhorar o seu desempenho através da gestão de informações, desempenhando um papel importante na análise de risco e na tomada de decisão (Kinnunen et al., 2017).
As soluções digitais, centradas na utilização de dados, promovem o avanço das operações e manutenção de ativos. A utilização informações provenientes de sensores, o uso da computação em nuvem e a mobilidade estão a impulsionar uma procura na área de gestão de ativos, através da adoção e utilização padronizada de várias tecnologias. Muitas organizações responsáveis pela gestão de ativos estão a explorar estas tecnologias como uma nova abordagem para reunir dados com o apoio de sistemas de monitorização (Hua et al., 2014; O'Donovan et al., 2015).

A utilização da tecnologia para gerir ativos pode originar numa melhoria do desempenho dos ativos, ao recolher e integrar informações provenientes de ativos confiáveis no processo de tomada de decisão. Embora a maioria das empresas utilize uma diversidade de ativos nas suas operações, muitas recorrem a métodos ineficazes, como inspeções no local uma ou duas vezes por ano, em vez de aproveitar a tecnologia para gerir os seus ativos (HAN et al., 2018).
Os sistemas inteligentes de gestão de ativos estão a tornar-se cada vez mais importantes. A disponibilidade da Internet das Coisas (IoT) no meio industrial, agrega novas tecnologias, como análise de manutenção preditiva combinada com Big Data e simulações de gêmeos digitais. Estas novas tecnologias estão a impulsionar o crescimento das plataformas de gestão de ativos, no entanto, a utilização de meios digitais na gestão de ativos, pode tornar-se um desafio, sendo que implica determinadas mudanças tecnológicas na infraestrutura, como também, mudanças no processo de gestão de ativos. A transformação digital da gestão de ativos, deve garantir que informações de negócios e dados de tecnologia operacional corretos estão disponíveis no momento certo, em todo o sistema e durante todo o ciclo de vida do ativo (Maletič et al., 2020).

2.4. Modelos de Maturidade

Um modelo de maturidade é um modelo conceitual, segundo Tarhan et al. (2016), consiste numa sequência de níveis discretos de maturidade para uma classe de processos num ou mais domínios de negócios, representando um caminho evolutivo antecipado, desejado ou típico para esses processos. Os modelos para identificação do estado de maturidade são ferramentas amplamente utilizadas para avaliar processos de negócios e o comportamento das organizações (Sobral & Tancredo, 2023). Algumas disciplinas adotaram o conceito de modelo de maturidade como forma de avaliar e melhorar as suas competências (Tarhan et al., 2016). A utilização destes modelos tem a vantagem de conseguir identificar os pontos fortes e os pontos fracos da organização, de acordo com os objetivos pretendidos, possibilitando que se defina procedimentos, realizando uma priorização eficiente das ações (Sobral & Tancredo, 2023).

3. Trabalho de Investigação

Foi elaborado um questionário com 14 perguntas (Incluindo as alíneas) como se pode ver no apêndice, com o objetivo de perceber a integração das novas tecnologias na Gestão de Ativos. O mesmo foi enviado para diversos profissionais com diferenciados papeis e funções dentro das empresas nacionais, contudo apenas 32 forneceram a informação da função que desempenham, sendo estes provenientes de 49 respostas.

Tabela 1. Funções dos profissionais na empresa

Funções nas Empresas	
Produção/Operação	12
Gestão	4
Manutenção	9
Sistemas de informação	7
Outras	17

Tabela 2. Tipo de empresa onde os profissionais trabalham

Profissionais das Empresas	
Automóvel	10
Ind. Transformadora	18
Outras	21

4. Análise de Resultados

4.1. Sistema de Gestão de Ativos (SGA)

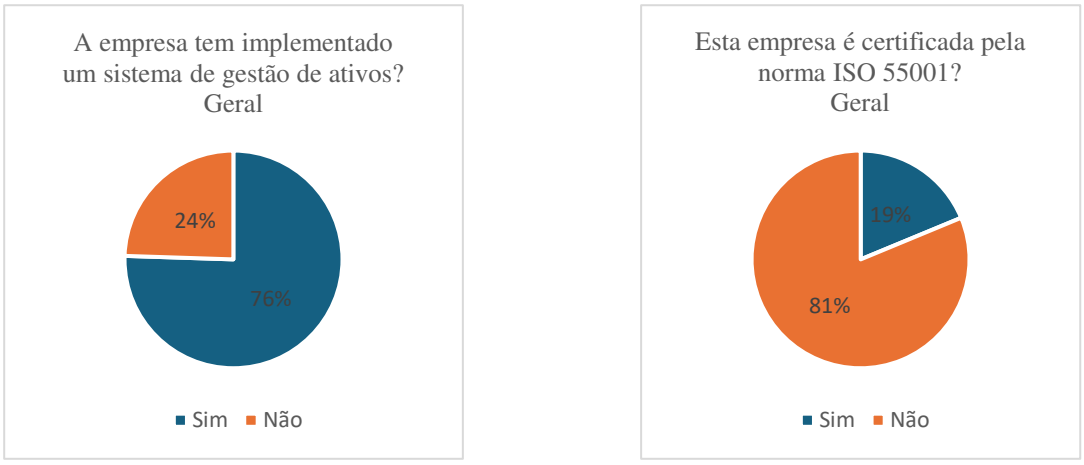


Figura 2. Sistema de Gestão de Ativos e Certificação

Com a análise aos gráficos presentes na figura 2, consegue-se ter a precação de que muitas das diversas empresas, onde os profissionais, encargues de responder ao questionário, trabalham, têm implementado um sistema de Gestão de Ativos, no entanto, a grande maioria não é certificada pena norma ISO 55001.

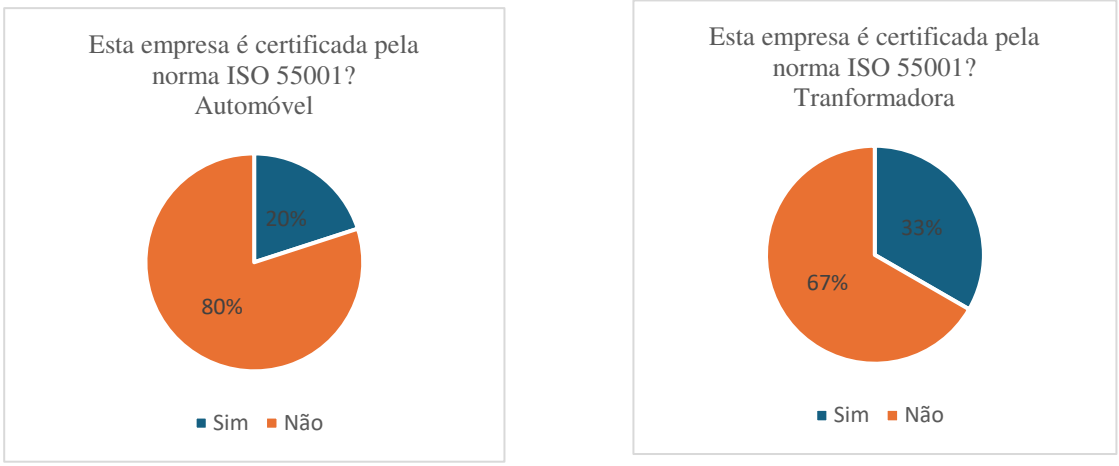


Figura 3. Certificação pela ISO 55001 em empresas do ramo Automóvel e na Indústria Transformadora

Da mesma forma, pode-se perceber através dos gráficos da figura 3, que das empresas em estudo, a que apresenta uma maior taxa de certificação pela norma ISO 55001, é a indústria transformadora.

4.2. Modelos de maturidade

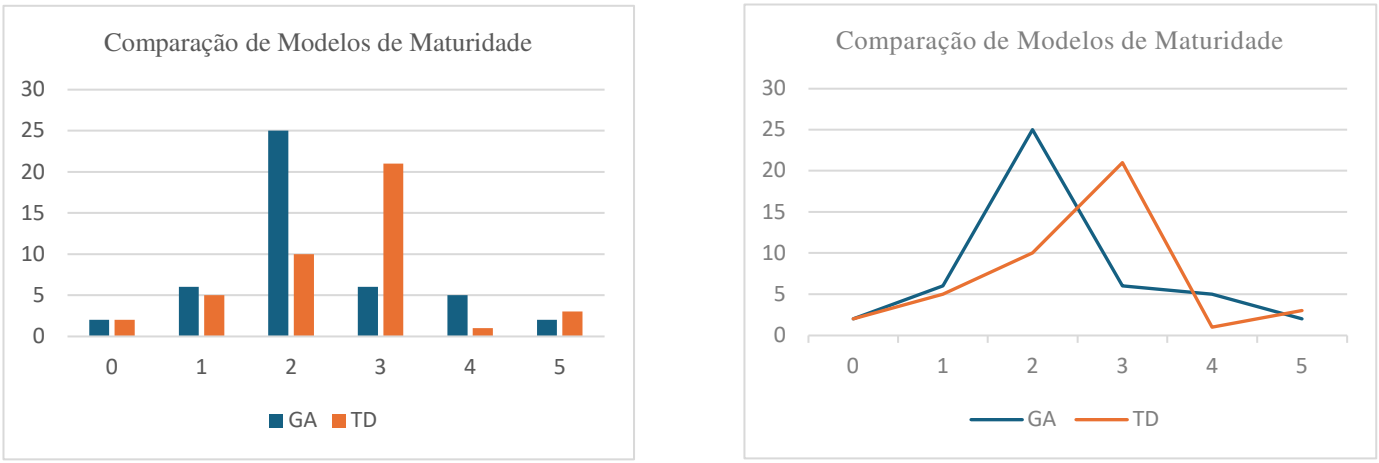


Figura 4. Comparação de Modelos de Maturidade

Observando a figura 4, na qual estão presentes gráficos referentes à maturidade das empresas, nas quais os profissionais, que responderam ao questionário exercem funções, consegue-se perceber que há uma grande maioria, que se encontram no nível 2 no caso da Gestão de Ativos e no nível 3 no caso da digitalização.

4.3. Utilização da tecnologia na Gestão de Ativos

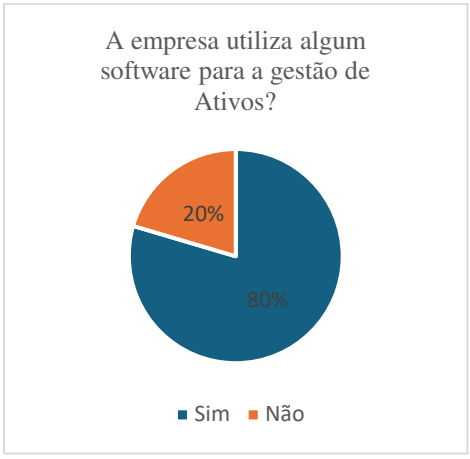


Figura 5. Utilização de Softwares de Gestão de Ativos

Com o gráfico da figura 5, pode-se observar que 80% das empresas utilizam softwares para auxiliar a gestão dos seus ativos, sendo este tipo de tecnologia, um complemento fundamental, no que diz respeito à assertividade no controlo e tomada de decisões, e consequentemente diminuição de erros humanos.

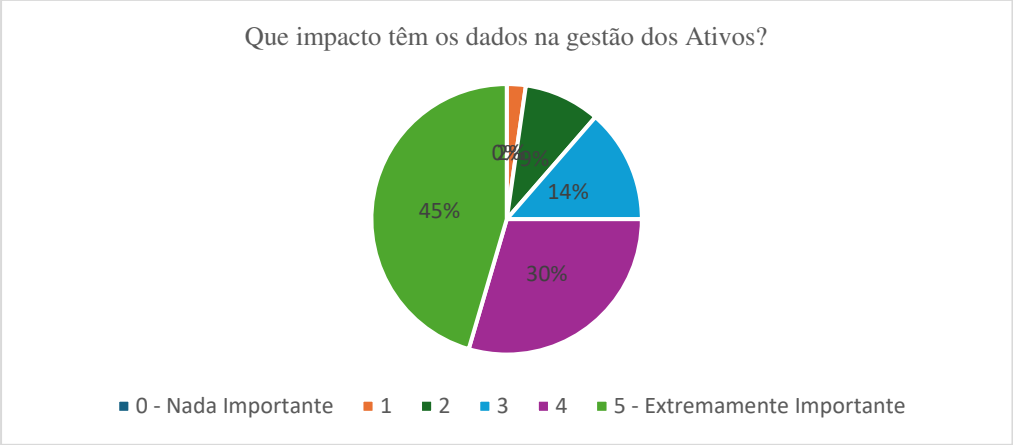


Figura 6. Impacto dos dados na Gestão dos Ativos

No gráfico da figura 6 pode ser observado, qual a perceção dos profissionais, que responderam ao questionário, em relação ao impacto dos dados na gestão de ativos. No eixo de x, está representada a escala de relevância que os profissionais atribuíram à importância dos dados neste tema, sendo "0 – Nada Importante" e "5 – Muito Importante", onde se pode concluir que a resposta mais frequente foi "5", ou seja, a maioria considera que os dados têm um impacto bastante relevante na Gestão de ativos.



Figura 7. Gráfico Sistema de informação na gestão do ciclo de vida dos Ativos

Já no caso do gráfico da figura 7, percebe-se que ainda existe uma grande percentagem (41%) de empresas que não utilizam softwares ou outro meio ou ferramenta tecnológica para auxiliar a gestão do ciclo de vida dos ativos.

5. Conclusão

A análise do questionário realizado revela insights valiosos sobre o estado da Transformação Digital na Gestão de Ativos em Portugal. A maioria dos profissionais alvos do questionário, reconhecem que as suas empresas têm implementado um sistema de Gestão de Ativos. No entanto, poucas empresas possuem a certificação pela norma ISO 55001, com a maioria das certificações limitando-se à indústria transformadora.
Em termos de maturidade, tanto na Gestão de Ativos quanto na Transformação Digital, a maioria das empresas encontra-se nos níveis 2 e 3, respetivamente. Esse resultado era esperado, pois muitas organizações ainda não priorizam a Gestão de Ativos como uma área de foco principal. A maturidade intermediária indica que, embora existam esforços e algumas práticas estejam em vigor, há um caminho a percorrer até alcançar níveis mais avançados de integração e eficiência.

Este estudo permite concluir que, embora haja um progresso considerável na adoção de novas tecnologias para a Gestão de Ativos, ainda existem desafios a serem superados. A falta de certificação ISO 55001 é um indicador de que muitas empresas necessitam de intensificar seus esforços para alinhar suas práticas aos padrões internacionais, promovendo assim uma Gestão de Ativos mais eficiente. Adicionalmente, as empresas devem continuar a investir na sua Transformação Digital, visando alcançar níveis mais altos de maturidade que lhes permitam usufruir plenamente dos benefícios da tecnologia na otimização de seus ativos.
Para futuras pesquisas, seria benéfico perceber, como os profissionais das mesmas empresas percecionam o futuro tanto a nível da Gestão de Ativos, como também da transformação digital e da junção benéfica das duas áreas para um melhor proveito dos ativos.

Referências

Anifa, M., Ramakrishnan, S., Joghee, S., Kabiraj, S., & Bishnoi, M. M. (2022). Fintech innovations in the financial service industry. Journal of Risk and Financial Management, 15(7), 287.

ATTENCIA, G. F. (2020). Transformação digital na gestão dos ativos: Análise das tecnologias adotadas e o processo de gestão. Revista Espacios, 41(17)

Bontis, N., Dragonetti, N. C., Jacobsen, K., & Roos, G. (1999). The knowledge toolbox:: A review of the tools available to measure and manage intangible resources. European management journal, 17(4), 391-402.

Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Murri, M. M., Streppa, E., & Schröder, A. J. (2020). The Challenge of Digitalization in the Steel Sector. Metals, 10(2), Artigo 2. https://doi.org/10.3390/met10020288

Coelho, R. W. S. (2015). Aplicação do conceito de gestão de ativos físicos numa estação elevatória de águas (Doctoral dissertation, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa).

Cóppola, G. (2020, julho 15). Gestão de ativos: O que é e como fazer na sua empresa? Rabbot | Automatize sua Gestão de Frotas. https://rabbot.co/blog/gestao-de-ativos/

Drucker, P. (2012). Post-capitalist society. Routledge.

EN ISO 55000. (2014). ISO 55000: 2014: Asset management–overview, principles and terminology. ISO Geneva, Switzerland.

Evans, N., & Price, J. (2020). Development of a holistic model for the management of an enterprise's information assets. International Journal of Information Management, 54, 102193.

Gaspar, D., Almeida, N., Sobral, J., & Reguenga, D. (2022). A manutenção na Gestão de ativos. Em MANUAL DE MANUTENÇÃO EM EDIFICAÇÕES, Estudos, técnicas e aplicações (1a, 1–1, pp. 155–174). LEUD.

Green, S. (2020). A digital start-up project–carm tool as an innovative approach to digital government transformation. Computer Systems Science and Engineering, 35(4), 257-269.

Han, M., Kim, Y., Park, H., & Kim, D. H. (2018). A study on the asset smart management system based on IOT. International Journal of Engineering and Technology (UAE), 7(2), 110-114.

Hole, G., Hole, A. S., & McFalone-Shaw, I. (2021). Digitalization in pharmaceutical industry: What to focus on under the digital implementation process?. International Journal of Pharmaceutics: X, 3, 100095.

Hua, L., Junguo, Z., & Fantao, L. (2014). Internet of Things Technology and its Applications in Smart Grid. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, 12(2), Artigo 2.

Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. Expert Systems with Applications, 216, 119456. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119456.

Jones, M., Williams, W., & Stillman, J. (2014). The evolution of asset management in the water industry. Journal AWWA, 106(8), 140–148. https://doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0114.

Kinnunen, S. K., Hanski, J., Marttonen-Arola, S., & Kärri, T. (2017). A framework for creating value from fleet data at ecosystem level. Management Systems in Production Engineering, 25(3), 163-167.

Kone, V. (2019). Study on Implementing Smart Construction with Various Applications Using Internet of Things Techniques. International Journal of Recent Technology and Engineering, 7, 188.

Laney, D. B. (2017). Infonomics: how to monetize, manage, and measure information as an asset for competitive advantage. Routledge.

Lafioune, N., Desmarest, A., Poirier, É. A., & St-Jacques, M. (2023). Digital transformation in municipalities for the planning, delivery, use and management of infrastructure assets: Strategic and organizational framework. Sustainable Futures, 6, 100119.

Ma, Z., Zhou, L., & Sheng, W. (2014, September). Analysis of the new asset management standard ISO 55000 and PAS 55. In 2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED) (pp. 1668-1674). IEEE.

Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2020). An analysis of physical asset management core practices and their influence on operational performance. Sustainability, 12(21), 9097.

Matyi, H., Veres, P., Bányai, T., Tamás, P., & Demin, V. (2020). Digitalization in Industry 4.0: The role of mobile devices. Journal of Production Engineering, 75-78.

O'Donovan, P., Leahy, K., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. (2015). An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities. Journal of big data, 2, 1-26.

Okorie, O., Russell, J., Cherrington, R., Fisher, O., & Charnley, F. (2023). Digital transformation and the circular economy: Creating a competitive advantage from the transition towards Net Zero Manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, 189, 106756.

Oliveira, P. P. (2020). Digital twin development for airport management. Journal of Airport Management, 14(3), 246–259.

PAS 55. (2008). Part 1: Specification for the optimised management of physical assets. https://theiam.org/

Pereira, J., Raposo, H., Farinha, J. T., & de-Almeida-e-Pais, J. E. (2023). Physical assets life cycle analysis in a food industry company-case study. Archives of Food and Nutritional Science, 7(1), 012-029.

Pylaeva, I. S., Podshivalova, M. V., Alola, A. A., Podshivalov, D. V., & Demin, A. A. (2022). A new approach to identifying high-tech manufacturing SMEs with sustainable technological development: Empirical evidence. Journal of Cleaner Production, 363, 132322.

Roe, D. (2019). Why information management plays a critical role in digital transformation. CMS Wire.

Sobral, J., & Tancredo, F. (2023). Desenvolvimento e aplicação de metodologia de avaliação da maturidade em gestão de ativos. RAE-Revista de Ativos de Engenharia, 1(2), 01-15.

Tarhan, A., Turetken, O., & Reijers, H. A. (2016). Business process maturity models: A systematic literature review. Information and Software Technology, 75, 122–134.

Vieira, J., Clara, J., Patrício, H., Almeida, N., & Martins, J. P. (2021, August). Digital twins in asset management: Potential application use cases in rail and road infrastructures. In World Congress on Engineering Asset Management (pp. 250-260). Cham: Springer International Publishing.

Wang, M., & Yin, X. (2022). Construction and maintenance of urban underground infrastructure with digital technologies. Automation in Construction, 141, 104464.

ID46
Gestão de Operações em Fabricação Aditiva: Caso do CDRSP

J. P. Fernandes ([1]), R. B. Ruben ([1,2]), M. C. Gaspar ([1,2])
marcelo.gaspar@ipleiria.pt

([1]) Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal
([2]) CDRSP – Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal

Resumo

O CDRSP - Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto, integrado no Instituto Politécnico de Leiria, é um Centro de Investigação especializado em investigação avançada dedicado ao desenvolvimento de novos materiais e produtos com características inovadores e sustentáveis. Sendo de natureza aplicada, o CDRSP dedica-se ao desenvolvimento de soluções que promovam a transferência tecnológica para empresas e entidades parceiras em projetos de investigação aplicada. Esta característica leva a que haja uma grande diversidade de áreas e domínios de investigação. Com foco nas técnicas de fabricação aditiva, essa ampla variedade de áreas de atuação conduz a que os seus laboratórios dedicados tenham muitas e diversificadas solicitações, o que requer uma gestão e um planeamento eficiente que lhes permita dar resposta ao elevado número de solicitações realizadas por parte dos investigadores deste Centro. Neste caso de estudo, pretendeu -se realizar um trabalho de campo focado na análise e no desenvolvimento de propostas de melhoria para a gestão de operações em Fabricação Aditiva (FA) em três dos mais significativos Laboratórios de FA do CDRSP, nomeadamente nos laboratórios de FA para materiais metálicos, poliméricos e compósitos e materiais cerâmicos. Para identificar oportunidades de melhoria, foram usadas metodologias Lean, realizou-se o mapeamento de fluxos de valor e utilizaram-se diagramas BPMN para os requisitos de um novo software de gestão de operações. Como síntese deste trabalho, pode referir-se que os objetivos inicias foram todos alcançados, tendo sido apresentadas e validadas um conjunto de recomendações que visam o incremento de eficiência nas operações do CDRSP.

Palavras-Chave: Gestão de Operações, Melhoria Contínua, VSM, Diagramas BPMN, Fabricação Aditiva

1. Introdução

O presente estudo insere-se no âmbito de um Projeto Industrial realizado no Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto (CDRSP), uma Unidade Orgânica e Centro de Investigação afiliado no Instituto Politécnico de Leiria e teve como objetivo principal a análise e melhoria dos processos operacionais nos laboratórios de Fabricação Aditiva (FA) do CDRSP, localizado na Marinha Grande, Leiria.

O projeto foi realizado no âmbito do curso de Licenciatura de Engenharia e Gestão Industrial (EGI) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria. O estudo visou uma imersão nas atividades do CDRSP, com foco na identificação de oportunidades de melhoria na gestão dos processos de produção em três dos seus mais representativos laboratórios de FA.

Como base do presente trabalho procedeu-se a um mapeamento inicial dos processos nas operações associadas a cada um dos laboratórios em estudo. Depois desse mapeamento preliminar, traduziram-se as operações identificadas em fluxogramas e em mapas de fluxos de valor, com vista a fornecer uma representação visual do fluxo de trabalho e a sequência de operações associadas a cada tipologia de laboratório. O seu desenvolvimento e análise permitiram identificar eventuais ineficiências e oportunidades de melhoria, que servirão de suporte às propostas de melhoria antevistas para o presente trabalho.

A importância deste estudo reside na sua contribuição para a melhoria contínua das operações do CDRSP, proporcionando desse modo uma experiência enriquecedora, que poderá aplicar teorias e práticas adquiridas ao longo da formação académica num contexto real. Assim, este trabalho não apenas documenta as atividades realizadas, mas também reflete sobre a relevância da gestão de operações na área da FA, destacando a necessidade de inovação e eficiência num ambiente competitivo e em constante evolução.

2. Enquadramento Teórico

desempenho em ambientes de produção, promovendo dessa forma a eficiência dos processos e a sustentabilidade das organizações (Serafim Silva et al., 2024; Tapping, 2002). A GFV é considerada uma das ferramentas mais importantes necessárias para alcançar uma empresa verdadeiramente lean. Resumidamente, o cerne da GFV consiste na definição de dois mapas, sendo ambos uma representação gráfica de fluxos de materiais e informações dentro de uma instalação. O primeiro (mapa do estado atual) representa o status quo, enquanto o segundo (mapa do estado futuro) representa o sistema ideal de produção lean que deve ser alcançado (Bonaccorsi et al., 2011; Lugert et al., 2018).

A GFV diferencia-se de outras técnicas de mapeamento porque implementa a gestão visual como uma forma de comunicar os objetivos organizacionais e documenta as relações entres os processos da linha de produção e as políticas de controlo, como são o planeamento de produção e as informações da produção, usadas para gerir esses processos. Esta metodologia segue um procedimento passo a passo composto por seis pontos (Tapping, 2002): Comprometer-se com o Lean; Apender sobre o conceito Lean; Escolher o fluxo de valor a ser melhorado; Mapear o estado atual; Identificar o impacto do desperdício e definir a meta para a melhoria; Mapear o estado futuro.

A gestão dos processos produtivos é crucial para abordar questões de sustentabilidade e melhorar a eficiência em contextos industriais. Várias metodologias e tecnologias Lean 6 Sigma podem reduzir o consumo de energia e mitigar os impactos dos processos industriais nas alterações climáticas. Além disso, combinar o Planeamento Sistemático de Layout (SLP) com abordagens de Lean Manufacturing pode ajudar a eliminar ineficiências, minimizar os prazos de entrega e aumentar a eficiência do ciclo nos processos de produção, levando, em última análise, a melhorias significativas na eficiência da produção (Sabah et al., 2023). A aplicação dos princípios Lean não só beneficia as indústrias transformadoras mas também tem sido implementada com sucesso em vários setores a nível global, enfatizando a importância da eficiência operacional no atual ambiente competitivo do mercado.

Aliado à metodologia de GFV estão os mapas de fluxo de valor (VSM - *Value Stream Mapping*) (Edtmayr et al., 2016; Oberhausen & Plapper, 2015). Os VSM são uma ferramenta poderosa usada em vários setores, como saúde, desenvolvimento de software, logística, automóvel e manufatura, para visualizar e analisar processos de identificação de desperdício, gargalos e áreas de melhoria (Bonaccorsi et al., 2011; Rakhmasari & Dharmayanti, 2023; Rocha, n.d.). Ao mapear o fluxo de criação de valor do início ao fim, os VSM ajudam a compreender o lead time, o tempo de ciclo, o rendimento e as ineficiências como espera, processamento desnecessário, movimento e transporte. Através da análise dos VSM, as organizações podem simplificar as operações, reduzir os custos, melhorar a produtividade, promoer a sustentabilidade das suas operações e melhorar o desempenho geral (Batwara et al., 2023; Horsthofer-Rauch et al., 2022).

3. Caracterização do Problema

O presente trabalho foca-se no estudo e caracterização dos procedimentos operacionais e organizativos em três laboratórios de fabricação aditiva do Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto. Começou por se estudar o fluxo de operações, bem como as suas especificações ao longo do processo de fabrico. Inicialmente, os tempos de execução foram cronometrados para um caso de estudo em cada laboratório, sendo recolhidos dados para determinar os pontos de estrangulamento e possíveis oportunidades de otimização do processo.

3.1. Laboratórios de Fabricação Aditiva do CDRSP

No CDRSP existem três laboratórios de fabricação aditiva de materiais de engenharia, nomeadamente de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos. Em cada um destes laboratórios podem ainda processar-se materiais compósitos de fibras ou partículas com distintas matrizes.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos

No domínio da fabricação aditiva, o laboratório do CDRSP de fabricação direta de materiais metálicos encontra-se equipado com impressoras 3D de metal que utilizam a tecnologia SLM (*Selective Laser Melting*) e algumas tecnologias de pós-processamento, como fornos de sinterização em atmosfera inerte.

Neste laboratório torna-se possível materializar, a partir de modelos digitais de 3D componentes ou protótipos físicos, com base nas mais diversas ligas metálicas. Como matéria-prima, os componentes são materializados a partir de ligas metálicas obtidas pela mistura de pós metálicos, que são sintetizados a partir de uma fonte de energia,

habitualmente um foco laser, que num ambiente de atmosfera controlada permite a manufatura dos componentes ou protótipos. Como é intrínseco aos processos de fabricação aditiva, não existe qualquer restrição à forma ou geometria das peças a fabricar, senão a capacidade dimensional da câmara de produção dos equipamentos.

Apesar das possibilidades notáveis oferecidas pela FA em metal, persistem desafios em áreas como seleção de materiais, otimização de processos e técnicas de pós-processamento que precisam ser abordadas para aumentar ainda mais a qualidade e fiabilidade das peças metálicas impressas em 3D.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais poliméricos e compósitos

O laboratório de FA de materiais cerâmicos integra equipamentos que permitem a produção de peças cerâmicas e protótipos em escala controlada (pequena e média), otimizando simultaneamente pastas e compósitos cerâmicos para novos usos. Além disso, a capacidade de imprimir formas complexas e geometrias personalizadas possibilita a inovação no design destes mesmos produtos cerâmicos.

A combinação de materiais cerâmicos de alta qualidade com a tecnologia de fabrico aditivo está a revolucionar a indústria, tornando-a mais eficiente adaptável às necessidades do mercado atual. Tal como acontece no laboratório de metais, as matérias-primas são disponibilizadas na forma de pós, que são endurecidos por diversas tecnologias e fontes energéticas. Tipicamente, neste laboratório, os pós são homogeneizados na forma de pastas, que depois de extrudida por diversas camadas, são por fim endurecidas num forno próprio. Adicionalmente, poderá haver técnicas de acabamento superficial, como é o caso da vitrificação.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais poliméricos e compósitos

O laboratório de fabrico aditivo de materiais poliméricos e compósitos foca-se na construção de peças poliméricas e compósitas, camada-a-camada, com base nos diferentes tipos de polímeros e com as mais diversas geometrias.

Com base nas tecnologias de Modelação por Deposição Fundida (FDM), Estereolitografia (SLA), Sinterização Seletiva a Laser (SLS), PAM (*Pellet Additive Manufacturing*) ou DLP (Digital Light Processing), este laboratório reúne equipamentos dedicados à fabricação rápida e automática de objetos físicos materializados a partir de materiais poliméricos, assim como compósitos de base polimérica que podem ser funcionais ou simplesmente servir para uma avaliação conceptual do produto desejado em desenvolvimento.

3.2. Gestão de Operações nos laboratórios de Fabricação Aditiva: Estado Atual

Após a recolha e identificação dos equipamentos, bem como a caracterização dos respetivos procedimentos nos laboratórios em estudo, foi realizada a análise das suas operações através de um Fluxograma e de um VSM atual adaptados a cada laboratório. A título representativo, focar-se-á inicialmente o estudo mais detalhadamente no laboratório de FA de materiais metálicos. Para os outros dois laboratórios do CDRSP far-se-á uma explicitação mais sintética dos procedimentos com base nos mapas de fluxo de valor com vista a sintetizar a extensão deste artigo.

A análise detalhada dos processos intrínsecos a cada um destes laboratórios permitirá identificar um conjunto de oportunidades de melhoria de processos e eficiência operacional em cada fase da produção, revelando potenciais áreas de melhoria a serem exploradas. Adicionalmente, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com a equipa técnica e operacional com vista a obter feedback sobre os desafios enfrentados no dia a dia e possíveis sugestões de melhoria adicionais.

Fluxograma de operações no laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos

Com base nas entrevistas realizadas com os gestores de cada um dos laboratórios de FA alvo deste estudo foi possível sistematizar na forma de fluxogramas a sequência de operações típicas em cada um deles para materializar os componentes ou protótipos solicitados por parte dos investigadores do Centro ao abrigo dos diversos projetos de investigação do CDRSP. Estes fluxogramas apresentam um duplo papel de, não só, permitirem sistematizar numa forma gráfica as principais operações dos processos a eles associados, como ainda de melhorar a compreensão desses mesmos procedimentos a todos os que possam não estar familiarizados com estes processos. Na Figura 01 encontra-se representado o fluxograma operacional do laboratório de FA de materiais metálicos.

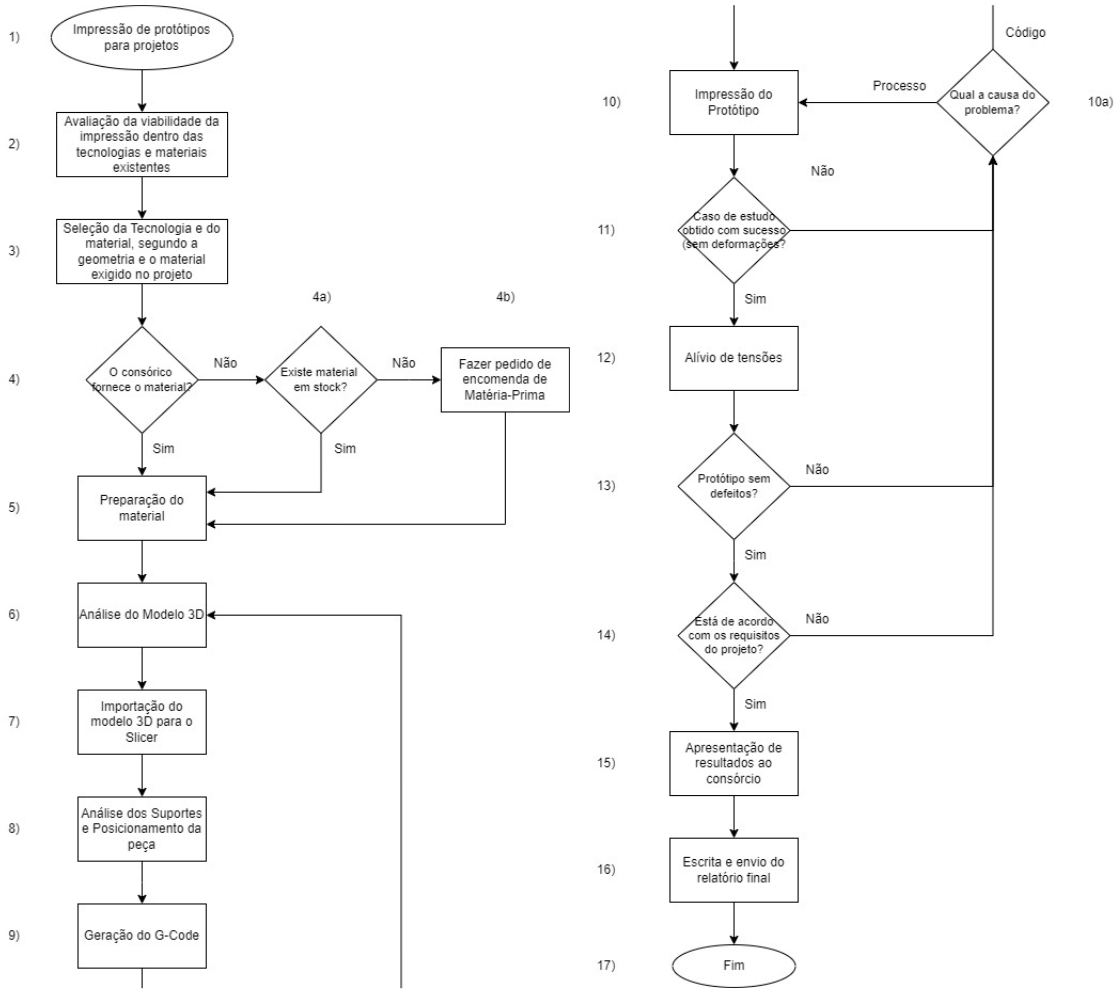


Figura 1: Fluxograma operacional do laboratório de fabricação aditiva de materiais metálicos do CDRSP.

A proposta de fluxograma para o laboratório de FA de Metais permite identificar um processo que está dividido em 16 operações principais:

- O processo de impressão inicia-se com a chegada de um pedido de necessidade de produção de um protótipo ou componente para um projeto de investigação concreto (1). Este pedido pode ter diversas origens, devidamente autorizadas pelo CDRSP, nomeadamente de um cliente, de uma parceria ou de um membro de equipa interna de projeto;
- A equipa do laboratório avalia a viabilidade do projeto (2), uma vez recebido o pedido de fabrico correspondente. Esta avaliação garante que o projeto é viável dentro das características e eventuais limitações de ocupação das máquinas, de tecnologia disponível, entre outros;
- Depois concluída a avaliação da viabilidade do projeto, a etapa seguinte envolve a identificação do tipo de tecnologia e equipamento, dos materiais e da(s) tecnologia(s) usadas para imprimir o(s) componente(s), ou protótipo(s) (3);
- Na etapa seguinte, efetua-se a verificação do material existente, podendo este ser fornecido pela entidade que faz o pedido de produção (4), o que, em caso afirmativa, permite avançar diretamente para a produção. No caso de não ser fornecida a totalidade do material, tem de se verificar se existe stock disponível para o trabalho (4a). No caso de não existir material disponível, tem de se proceder à realização de um pedido de encomenda (4b);
- Antes de iniciar a impressão tem de se preparar o material necessário à manufatura do componente, ou protótipo desejado (5), podendo este fabricado a partir de material puro ou uma liga metálica resultante mistura de pós para esse fim específico. Tem ainda de se realizar uma análise minuciosa do modelo 3D (6,7) por forma a verificar se este está apto a ser impresso diretamente, ou se existem falhas na geometria ou dimensões que possam comprometer o processo.

- Na etapa seguinte, por intermédio de um software de fatiamento 3D (7) definem-se as configurações de impressão (material, temperatura, qualidade/número de passagens, etc.) e realiza-se uma análise para eventual colocação dos suportes necessários em zonas sem sustentação, assim como o estudo de posicionamento da peça na câmara de impressão (8). Por fim, uma vez concluídas todas as etapas anteriores, procede-se à geração do código G no software de fatiamento (9).
- Uma vez concluída a análise da modelação 3D e realizada a geração do código G, pode realizar-se a impressão do componente, ou protótipo desejado (10). Depois de terminara a impressão, realizam-se os testes de qualidade de impressão com vista a inferir se ocorreram falhas ou deformações no protótipo obtido (11). Caso se verifique alguma não-conformidade, tem de averiguar qual, os quais a(s) eventual(ais) causa do problema (10a), podendo esta(s) ser um erro no código (Modelo 3D, Slicer, Suportes ou G-Code), repetindo as etapas 6,7,8 e 9, ou decorrentes do processo de impressão, tendo apenas de se repetir a etapa 10.
- No final da impressão da(s) peça(s) conforme(s), estas podem passar por um tratamento térmico com vista ao alívio das tensões internas (12) que possam ter surgido durante o processo de impressão. Estas tensões internas podem ter sido originadas devido a diversos fatores, tais como diferenças de temperatura durante o arrefecimento do material ou devido a imperfeições no processo de fabrico. O alívio de tensões é importante para garantir a integridade e durabilidade da peça.
- Posteriormente, faz-se uma avaliação de outras potenciais não-conformidades da peça (13). Uma vez analisada, e se esta estiver conforme, avalia-se se a peça está de acordo com as especificações e requisitos do projeto (14). Em caso de incumprimento dos requisitos, pela presença de não-conformidades, volta-se à etapa de verificação do problema (10a).
- Concluídas todas etapas anteriores e assegurando-se o sucesso na impressão do protótipo final, segue-se a apresentação de resultados à entidade que requisitou o projeto (15) e procede-se à realização de um relatório final (16) por forma garantir a rastreabilidade do processo e registar eventuais erros ocorridos durante todo o processo e encontrar formas de melhoria para trabalhos futuros.

Mapas de Fluxo de Valor do laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos

Também com base na recolha e identificação dos equipamentos, bem como através da caracterização dos respetivos procedimentos nos laboratórios em estudo, foi desenvolvido um mapa de fluxo de valor (VSM – *Value Stream Mapping*) atual adaptados a cada um dos três laboratórios. Estes VSM têm um papel semelhante aos fluxogramas, na medida em que permitem sistematizar de forma gráfica um conjunto relevante de informação sobre os processos, sendo ainda mais aprofundado que os anteriores por conterem um conjunto de informação adicional. Estes auxiliam, não só, na organização estruturada dos processos dentro de cada laboratório, mas também na melhoria da compreensão e perceção por parte dos investigadores do CDRSP que possam não estar diretamente familiarizados com o funcionamento interno do laboratório em questão.

Atualmente, para cada laboratório encontra-se afeto um único técnico, sendo este cumulativamente o responsável do laboratório em questão. É atualmente função do responsável de laboratório toda a gestão dos processos, desde a solicitação de necessidade de produção, passando pela realização de encomendas aos fornecedores, até à entrega do produto final à entidade que necessita das peças impressas. Tendo isto em conta, criaram-se os seguintes VSM adaptado a cada laboratório com os respetivos tempos de cada etapa a ser realizada para um caso de estudo concreto.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos

Neste laboratório foram considerados os processos de setup, onde se faz a preparação dos equipamentos e do material a ser usado, a impressão da peça, o seu arrefecimento e a operação de remoção e limpeza da peça impressa. Foram também medidos os tempos de valor não agregado (VNA) e tempos de valor agregado (VA). Na Figura 2 encontra-se ilustrado o VSM para o Laboratório de FA de materiais metálicos:

Através da recolha de informação presente no VSM pode-se verificar que neste processo produtivo existe um total de 18.8h de processos com agregam valor ao protótipo a ser produzido e contabilizou-se 24.2h que não existe nenhum tipo de valor agregado, obtendo um Total Lead Time de 43h, desde a receção da encomenda de material até ao ato de entrega do produto final. Considerado o caso de estudo analisado, o tempo de valor agregado foi de 44%, enquanto o restante tempo de valor não agregado foi de 56% do *Lead Time*.

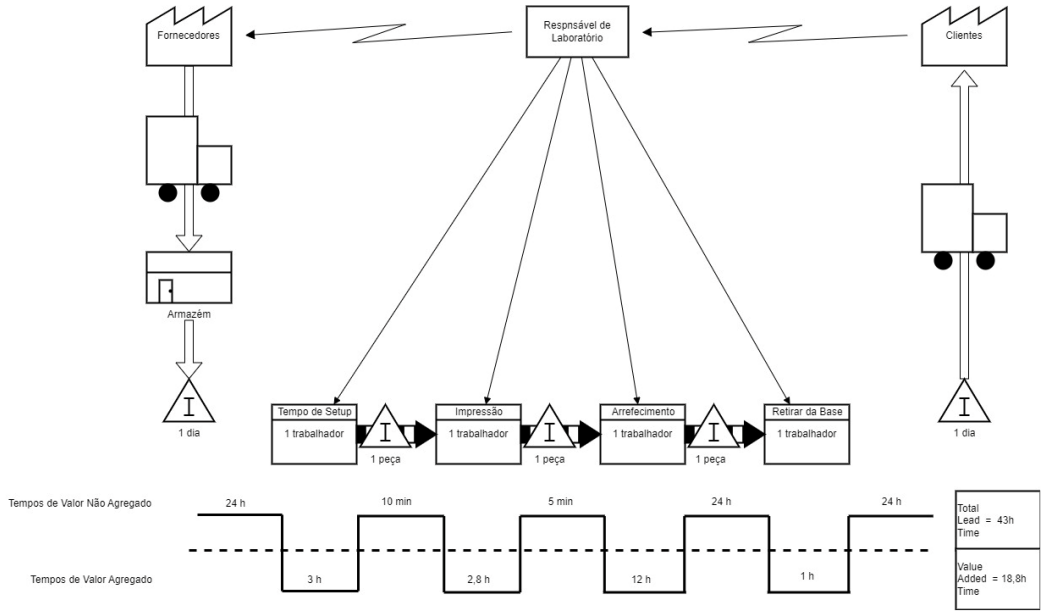


Figura 2: VSM para o Laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais cerâmicos

Para a criação do mapa de fluxo de valor do laboratório de FA de materiais cerâmicos (Figura 3), foram identificadas as etapas mais importantes, que incluem o *setup* dos equipamentos, a impressão dos protótipos, a secagem dos mesmos, cozedura *Biscuit*, tratamento de vidro e a respetiva cozedura de vitrificação.

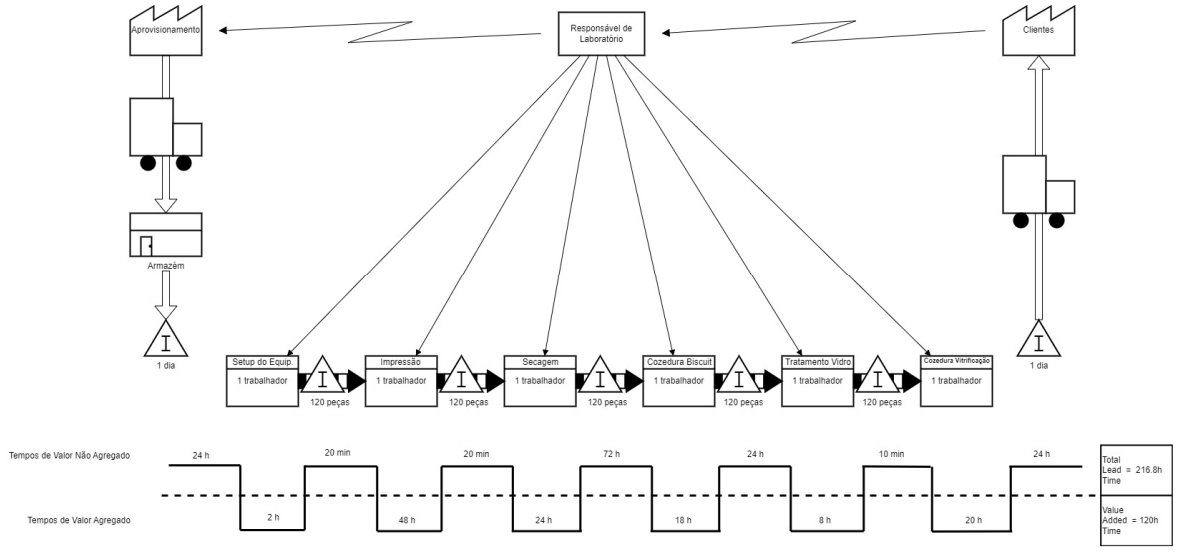


Figura 3: VSM para o Laboratório de fabrico aditivo de materiais cerâmicos.

Com base na análise do VSM da Figura 3, pode-se confirmar que existem 120h dedicadas a processos de valor acrescentado no processo produtivo e, por contrapartida, existem 96.8 horas gastas em atividades que não agregam valor. Isto leva a um Lead Time Total de 216.8 horas, desde a receção da encomenda até à entrega do produto final. Considerado o caso de estudo analisado para a produção de protótipos em materiais cerâmicos, o tempo de valor agregado foi de 55%, enquanto o restante tempo de valor não agregado foi de 45% do Lead Time.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais poliméricos e compósitos
Do mesmo modo, para o desenvolvimento do mapa de fluxo de valor do laboratório de FA de materiais poliméricos e compósitos (Figura 4), foram identificadas as etapas mais importantes, que incluem o *setup* dos equipamentos, a impressão das peças e os respetivos acabamento. Tal como anteriormente foram identificados tempos de valor agregado e tempos de valor não agregado, que correspondem, respetivamente, a 30%, e a 70% do *Lead Time*.

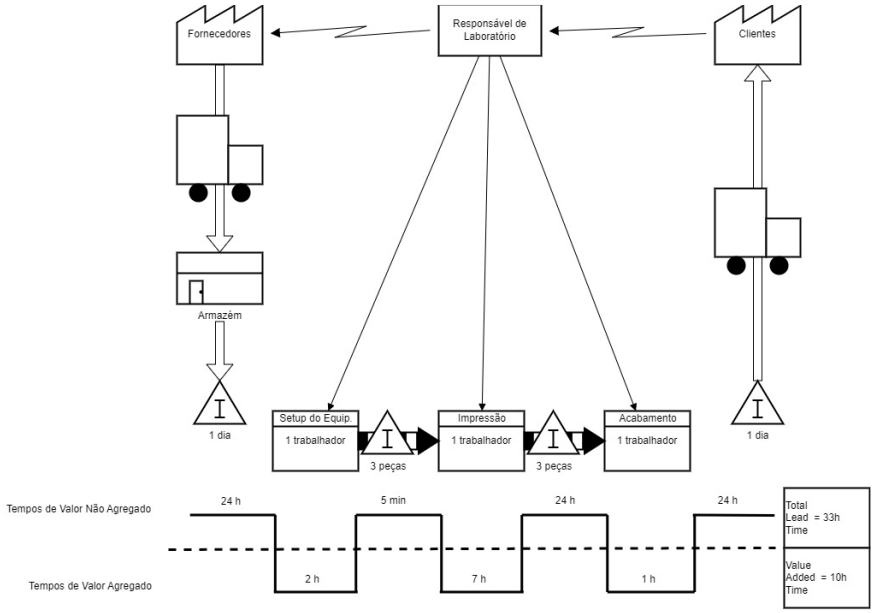


Figura 4: VSM para o Laboratório de fabrico aditivo de materiais poliméricos e compósitos.

Através da análise dos dados encontrados no VSM (Figura 4), é possível confirmar que, por um lado, existe um total de 23 horas dedicadas a processos que agregam valor ao processo produtivo no caso de estudo em análise. Por outro lado, há um total de 10 horas em atividades que não agregam valor ao produto final, resultando assim, num Total Lead Time de 33 horas, desde a receção do pedido de encomenda de material até à entrega do produto final.

3.3. Definição do Problema

Durante a recolha da informação para a criação do mapeamento dos procesos em cada laboratório identificaram-se diversas oportunidades de melhoria no âmbito dos procedimentos e processos nos três laboratórios do CDRSP em estudo. Assim, algumas dessas oportunidades de melhoria incluiam a falta de integração entre os sistemas de informação, a ausência de protocolos claros de comunicação entre os diferentes departamentos do centro entre outros. Estes fatores, combinados com uma significativa rotatividade de colaboradores, levou a que estes possam não estar sensíveis a essa potencial ausência de protocolos e de procedimentos standard. Ir-se-á, abaixo, proceder à identificação das oportunidades de melhoria identificadas no presente estudo:

Gestão e planeamento da produção
Atualmente, como ferramenta de apoio à gestão dos laboratórios em estudo verificou-se que existe uma plataforma em Excel. No entanto, a utilização desta é muito pouco frequente e a sua estrutura é rudimentar, tornando-se inadequada para atender as necessidades específicas de cada laboratório, resultando em ineficiências operacionais e dificuldades na partilha de dados entre as equipas.

Sobrecarga dos responsáveis de laboratório
Para além da gestão do planeamento das tarefas de laboratório, os responsáveis são os únicos que estão presentes na produção. Isto leva a uma sobrecarga de trabalho que poderá levar, em última análise, a uma menor produtividade. Por outro lado, caso o responsável não possa trabalhar, por motivos de férias ou indisponibilidade para estar presente na instalação, não existe operador disponível para prosseguir com a produção sem a autorização do responsável. Esta falta de flexibilidade na ausência do responsável pode levar a atrasos significativos na produção.

Aprovisionamento
Observou-se que existe uma falta de clareza quanto ao processo de ativação do serviço de encomendas, uma vez que não existe um protocolo direto que detalhe como esta ativação ocorre. Isso pode levar a confusão e dificuldades na execução do serviço, tornando essencial o estabelecimento de orientações claras e procedimentos bem definidos para garantir uma ativação eficaz e sem problemas.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados

Numa fase inicial, cada laboratório foi cuidadosamente observado para identificar áreas específicas onde poderiam ser feitas melhorias. Este processo envolveu um estudo detalhado das operações, dos procedimentos e das práticas dentro de cada laboratório para identificar oportunidades de melhoria e otimização, a fim de aumentar a sua eficiência e eficácia globais.

4.1. Propostas de Melhoria

Durante a realização deste estudo, foi possível verificar que apesar da boa estrutura organizacional do CDRSP, havia oportunidades de melhoria na comunicação interna entre os diferentes departamentos e também, cada laboratório individualmente, poderia beneficiar de propostas dedicadas à sua função, o que visa otimizar a eficiência operacional e promover uma maior sinergia entre as equipas. Neste sentido, foram desenvolvidas diversas propostas que visam um incremento da eficiência operacional e a implementação de um sistema de comunicação interna mais eficaz.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos

Para este laboratório, identificaram-se duas operações adicionais com vista acrescentar competências e valor ao ao processo produtivo. Estes procedimentos tornam-se essenciais para potencializar a preparação de materiais e o acabamento do protótipo final. Para isso realizou-se um novo fluxograma atualizado (Figura 5) que irá agilizar o processo de produção, garantindo que os materiais estão devidamente preparados e o produto final se encontra dentro dos mais elevados padrões de qualidade.

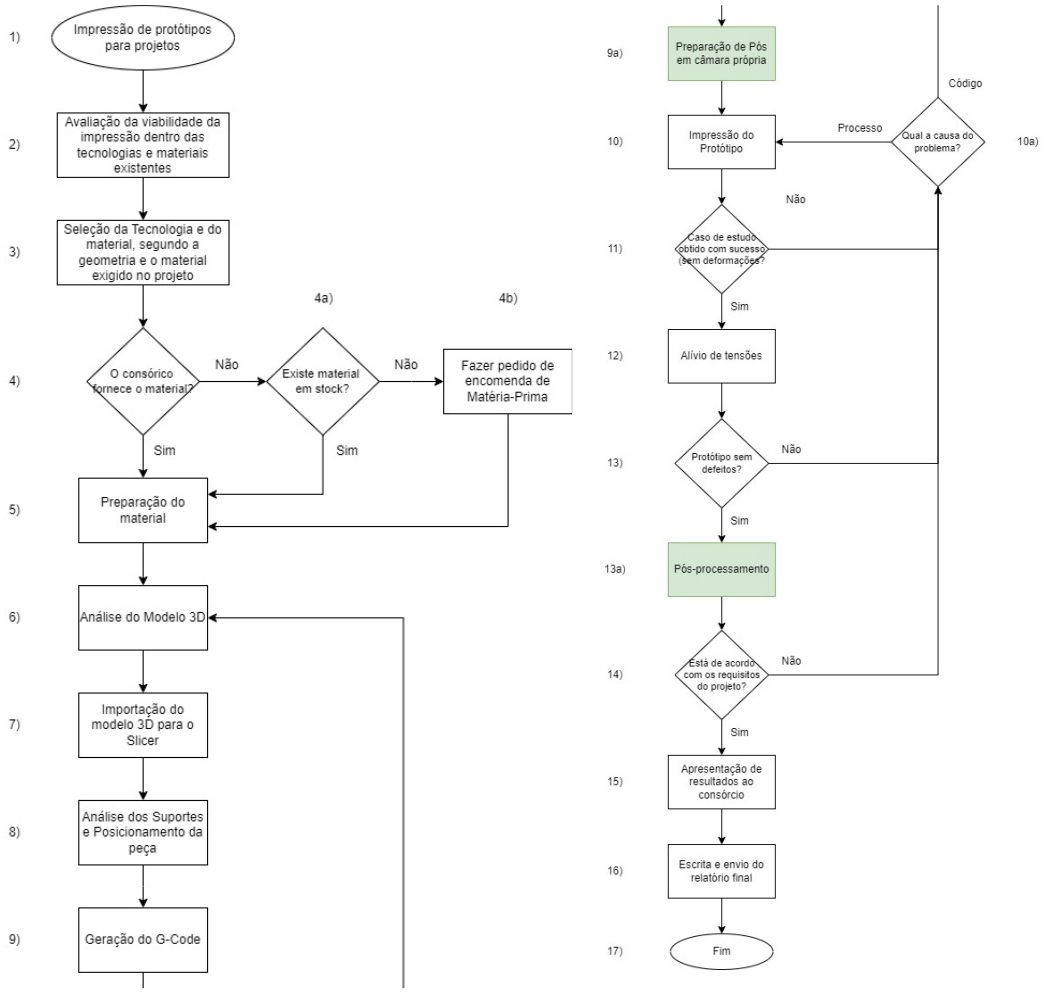


Figura 5: Fluxograma atualizado do laboratório de fabricação aditiva de materiais metálicos do CDRSP.

Uma das novas etapas a implementar no processo do laboratório de FA de materiais metálicos é a etapa de preparação de pós. Apesar de este procedimento já existir, não está a ser realizado com segurança, o que coloca em risco a saúde dos colaboradores que nele participam. Idealmente, a preparação deve ser realizada numa câmara dedicada para salvaguardar um ambiente de trabalho seguro e preservar o bem-estar físico dos colaboradores participantes no processo. Devem ser implementadas medidas para reduzir os riscos e incentivar procedimentos de segurança adequados durante a preparação do pó. Além disso, é fundamental que os colaboradores envolvidos recebam formação adequada sobre os procedimentos de segurança e utilizem o equipamento de proteção individual recomendado.

Outra etapa adicional a implementar ao processo deste laboratório é a de pós-processamento, sendo esta uma etapa crucial para garantir que o produto final cumpra as especificações e padrões de qualidade desejados. O pós-processamento envolve várias técnicas como acabamento superficial, tratamento térmico, para melhorar as propriedades mecânicas das peças metálicase a qualidade das superfíces de engenharia dos produtos e componentes processados.

Considerando as duas etapas adicionais acima identificadas, foi elaborado um novo mapa de fluxo de valor (VSM) conforme ilustrado na Figura 6. É de notar que para quantificar a soma dos tempos de valor acrescentado e valor não acrescentado, juntamente com *lead time total*, apenas se pode fazer uma estimativa dos tempos associados, na medida em que se trata apenas de uma proposta de melhoria para implementação futura.

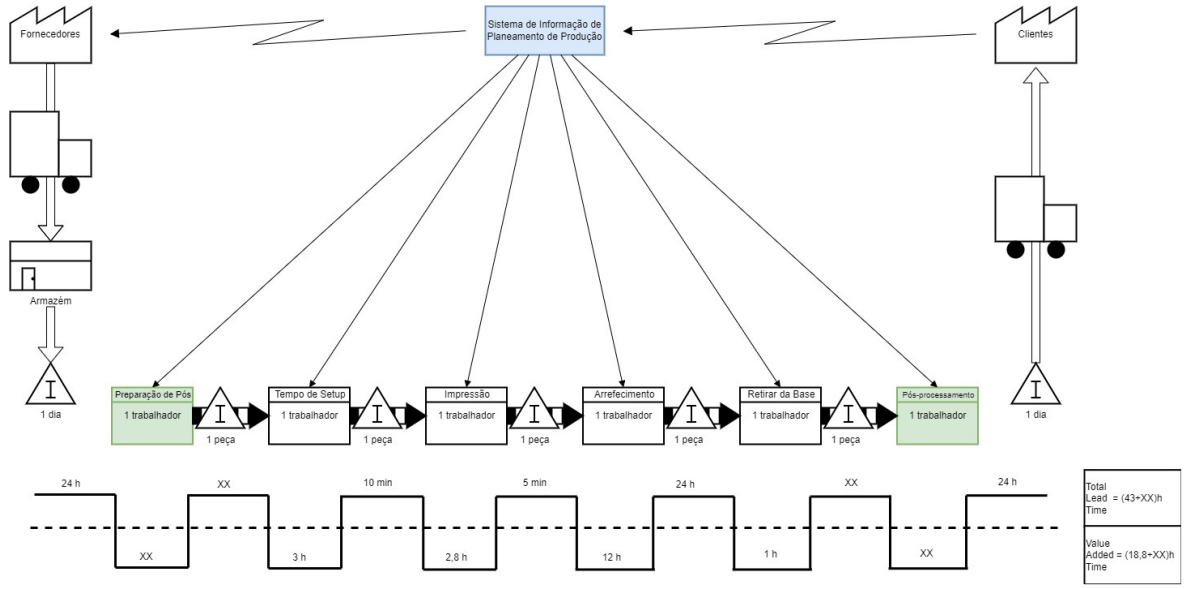


Figura 6: VSM atualizado para o Laboratório de fabrico aditivo de materiais metálicos.

Neste VSM atualizado, foi feita a alteração do sistema de gestão e planeamentodo processo, que anteriormente estava centrada no responsável do laboratório, e que pretende venha a estra centralizada numa aplicação de software cujas características serão discutidas na secção seguinte. Espera-se que este Sistema de Informação de Planeamento de Produção venha a ter um impacto significativo nas operações do laboratórios e em melhorias significativas no planeamento e execução da produção.

Laboratório de fabrico aditivo de materiais cerâmicos

À semelhança do laboratório FA de metais, neste laboratório foi identificado que a integração das etapas de preparação dos pós em câmara controlada e de pós-processamento dos componentes impressos se traduz em vantagens significativas do seu proceso de produção ao processo de produção. Estes passos são cruciais para melhorar a preparação do material e o acabamento final do protótipo. Estas etapas, à semelhança do referido para o laboratório anterior, visam incrementar a segurança dos colaboradores e garantir a qualidade final dos produtos.

A etapa de preparação de pós em câmara controlada permite isolar os colaboradores de agentes nocivos, preserva o bem-estar físico e promover boas práticas de segurança. Por seu turno, a etapa adiconal de pós-processamento é, de facto, etapa crucial para garantir que o produto final atenda às especificações e padrões de qualidade desejados. Esta etapa envolve diversas técnicas, com acabamento superficial e tratamento térmico e que acrescentam valor aos protótipos e componentes materializados neste laboratório. A implementação desta etapa, para além de acrescentar valor ao processo trará benefícios como, produto final com qualidade superior, redução de retrabalho e aumento da satisfação das empresas parceiras.

Com base nas novas etapas para o processo elaborou-se um VSM (Figura 7). Este mapa proporciona uma visão abrangente e otimizada do processo. É de reforçar que, à semelhança do VSM anterior, as questões associadas aos tempos de valor acrescentado, não acrescentadio e *lead time* não estão quantificados no mapa apresentado. Também neste mapa o software de Informação e Planemanto da produção trará melhorias significativas na eficiência e eficácia do processo.

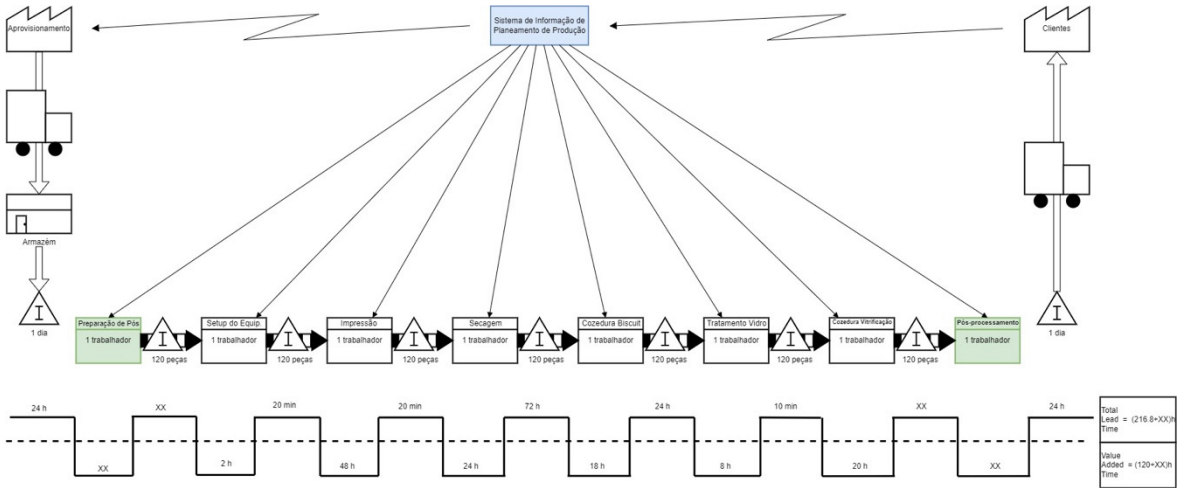


Figura 7: VSM atualizado para o Laboratório de fabrico aditivo de materiais cerâmicos.

Laboratório de fabrico aditivo de Polímeros e Compósitos

Para este laboratório, reconheceu-se que uma proposta de melhoria era introduzir a etapa adiconal de pós-processamento com vista a garantir que o produto final cumpre os requisitos e critérios de qualidade especificados. Também para este laboratório foi gerado um novo VSM atualizado (Figura 8), representando a integração da etapa acima mencionada. No VSM atualizado, o responsável do laboratório foi substituído por um Sistema de Informação de Planeamento da Produção, transferindo as responsabilidades de planeamento da produção, encomenda de matérias-primas e outras tarefas. O impacto deste software nas operações laboratoriais e melhorias no planeamento da produção será explorado na secção seguinte.

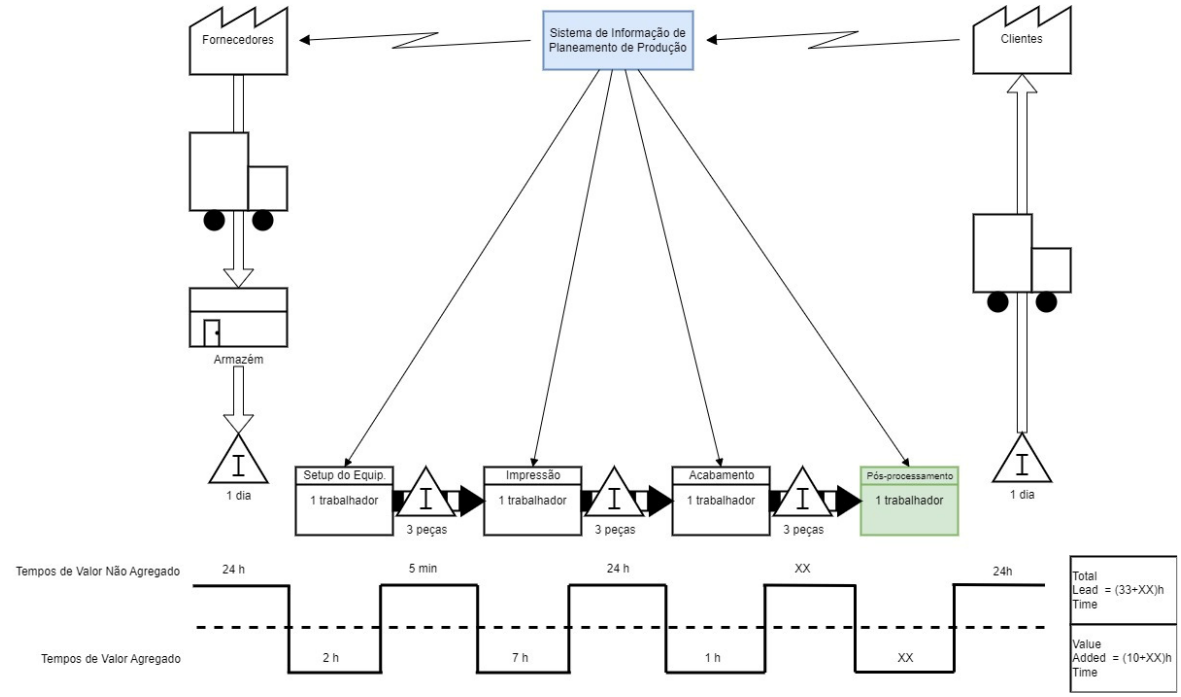


Figura 8: VSM atualizado para o Laboratório de fabrico aditivo de polímeros e compósitos.

4.2. Proposta de Software para a Gestão dos Laboratórios

Verificou-se que um problemas mais criticos identificados neste estudo está associado à gestão e ao planeamento da produção, de modo particular no que repeita ao aprovisionamento. Verificou-se que poderia ser otimizada através da implementação de um software de gestão de projetos personalizado, o que irá permitir uma melhor coordenação entre os departamentos e uma visão mais clara do progresso de cada etapa do processo de produção. Com vista a definr as catarerístcas desta aplicação, procedeu-se à identificação dos seus requisitos e não funcionais.

Por um lado, os requisitos funcionais são uma parte essencial de uma especificação de software, pois descrevem em detalhe as ações que cada utilizador pode realizar dentro do sistema e fornecem orientações claras sobre as funcionalidades e operações que o software deve oferecer, garantindo desse modo que satisfaz as necessidades e expectativas dos utilizadores. Estes requisitos são fundamentais para o desenvolvimento de software eficiente e intuitivo, pois ajudam a definir o âmbito do projeto e a garantir que as funcionalidades vão ao encontro dos objetivos do utilizador.

Com a definição clara destes requisitos, estabeleceu-se a base para o desenvolvimento de software de gestão de planeamento, que utiliza Diagramas BPMN (*Business Process Model and* Notation). Os Diagramas BPMN são uma forma visual de representar processos de negócio complexos, permitindo uma melhor compreensão e comunicação entre os envolvidos no projeto. Esta abordagem ajuda a garantir que o software vai ao encontro das necessidades específicas de planeamento da empresa, tornando o processo mais eficiente e eficaz. Além disso, a utilização de Diagramas BPMN facilita a identificação de possíveis melhorias nos processos existentes, contribuindo para a otimização contínua do software de gestão de planeamento. Para a criação do Diagrama BPMN para a gestão dos laboratórios do CDRSP (Figura 9), os principais utilizadores considerados são os responsáveis de laboratório, os técnicos de laboratório e o departamento logístico. No entanto, é importante salientar que, numa análise futura, poderão ser identificados utilizadores adicionais que também poderão ser incluídos neste diagrama.

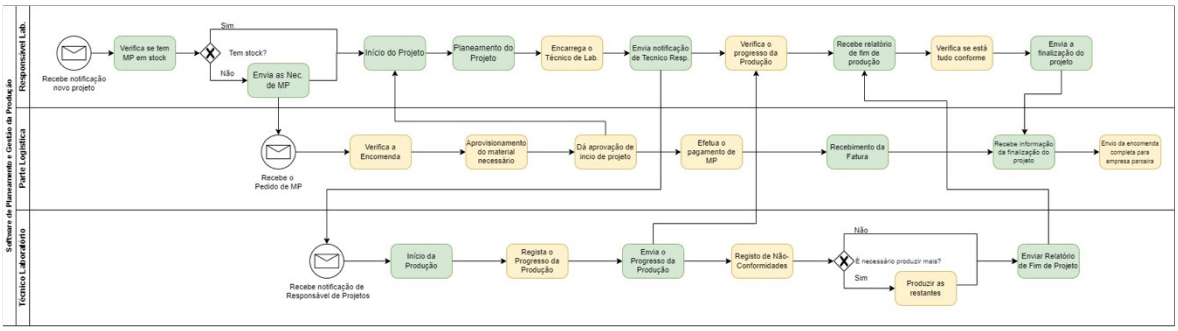


Figura 9: Diagrama BPMN para o Software de Planeamento e Gestão da Produção no CDRSP.

Este diagrama BPMN, com a ajuda dos VSM apresentados anteriormente, ilustra como o software funcionaria como um todo. Indica os passos que seriam realizados automaticamente pelo software (verde) e aqueles que seriam executados pelo utilizador específico. Além disso, é fundamental considerar a possibilidade de integração com outros sistemas ou departamentos do CDRSP, o que poderia impactar significativamente a eficiência e a abrangência do software.

O processo de produção inicia-se da mesma forma que representado nos fluxogramas de cada laboratório, em que cada responsável do laboratório recebe uma solicitação de um novo projeto e a confirmação da viabilidade do projeto, o software começa a analisar se existe material suficiente nos diferentes stocks. No caso de existir previamente stock, o software dá logo início ao projeto. Em caso de falta, o software envia informação das necessidades de material para o departamento logístico.

O departamento logístico ao receber notificação das necessidades de material, verifica a encomenda e dá início ao aprovisionamento dessas necessidades. Após estas etapas, dá-se a aprovação para início do projeto e é logo enviado notificação ao responsável de laboratório que pode dar início ao projeto. Enquanto isso, o Departamento Logístico, efetua o pagamento aos fornecedores e recebe os dados da fatura.

Dado o início de cada projeto, o software automaticamente realiza o planeamento da produção e o responsável de laboratório só tem de confirmar este planeamento e encarregar um técnico de laboratório que ficará encarregue da produção. Após isso, o software envia uma notificação automática ao técnico responsável. O técnico responsável após receber essa notificação, dá início da produção de imediato. Ao fim de algum tempo, e o ideal era a cada etapa realizada, o técnico regista o progresso da produção. Esse registo é atualizado automaticamente pelo software, podendo assim o responsável fazer uma verificação do estado atual de cada projeto.

Durante a produção, como é de esperar haverá não conformidades nas peças até se obter o produto final e tendo isso em conta, o técnico deverá fazer esse registo de não conformidades, de modo que o software registe também os gastos de matéria-prima que foram desperdiçados e ter uma contabilização mais assertiva de stock. Posto isto, o técnico confirma se a quantidade de peças obtidas está de acordo com as necessidades do projeto e, em caso afirmativo, dá por terminada a atividade produtiva. O software enviará o relatório de fim de projeto para o responsável e este ao recebê-lo, terá de fazer a verificação e confirmar se está tudo em ordem com as especificações da entidade que fez o pedido de produção. Por fim, é enviado uma notificação ao departamento logístico, que por sua vez, irá proceder aos passos para realizar o envio completo da encomenda para a empresa parceira.

Em relação ao processo de planeamento da produção, o software irá gerir de forma eficiente todas as máquinas automaticamente. Isso significa que o software será responsável por programar as atividades de produção, otimizar o uso da máquina e garantir que a produção funcione sem problemas e eficientemente. Ao automatizar este processo, o software pode ajudar a agilizar as operações, reduzir erros e melhorar a eficiência geral da produção. Além disso, o software também será capaz de monitorar em tempo real o desempenho das máquinas, identificar possíveis falhas e sugerir ajustes para manter a produção em andamento de forma contínua e eficaz.

Após a conclusão de todo o processo, é importante destacar que o software irá armazenar de forma eficiente todos os dados relevantes. Isto permitirá confirmar as condições de produção e o stock utilizado no futuro. A capacidade de armazenar e organizar os dados garantirá a rastreabilidade e análise precisa da informação, contribuindo para a melhoria contínua dos processos e tomada de decisão com base em dados concretos.

Em síntese, pode relevar-se da análise destas diferentes propostas de melhoria se pode esperar uma melhoria no planeamento e gestão das operações de cada laboratório, a melhoria das condições de trabalho para as pessoas afetas ao processo e um incremento efetivo da efiência operacional de cada laboratório do CDRSP.

5. Conclusão

O presente estudo focou-se na identificação de um conjunto de estratégias que permitisse melhorar as operações nos laboratórios de Fabricação Aditiva do CDRSP, culminando na identificação de diversas oportunidades de melhoria. Ao longo da realização deste estudo, foi possível aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos no curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, contribuindo assim para o desenvolvimento de soluções práticas que visam otimizar os processos operacionais. A criação dos novos VSM não apenas proporcionou uma representação visual das melhorias propostas, mas também serviu como guia para a implementação de mudanças, promovendo um ambiente de trabalho mais eficiente e colaborativo na organização.

Com base na análise realizada, foram desenvolvidas propostas de melhoria específicas para cada laboratório. No caso dos laboratórios de materiais metálicos e cerâmicos, as propostas incluíram a implementação de procedimentos adicionais para preparação de pós em câmara dedicada e o ainda uma etapa final de pós-processamento. No laboratório de polímeros e compósitos foi sugerida ainda uma etapa adicional para as operações de pós-processamento no processo de fabrico. Estas propostas de melhoria, visam garantir a segurança dos colaboradores e a qualidade do acabamento do protótipo final.

Outra das principais propostas de melhoria foi a implementação de um software de gestão para o planeamento e gestão da produção que deverá permitir uma melhor coordenação entre os departamentos e uma visão mais clara do progresso de cada etapa do processo. Esta solução procura reduzir os atrasos de encomenda, de produção e entrega do produto final e melhorar a eficiência operacional, facilitando assim a comunicação e a colaboração entre as equipas. A sua implementação deverá ainda permitir a monitorização em tempo real dos processos, bem como uma melhoria efetiva na gestão e no planeamento da produção das operações de materialização e prototipagem desses laboratórios.
Apesar de se considerar ter atingido com sucesso os objetivos inicialmente propostos para este estudo, foram igualmente identificadas algumas limitações. A principal limitação foi a falta de tempo para implementar e identificar os impactos das sugestões propostas, que se deveu à natureza e planeamento do projeto. Com vista a dar continuação a este estudo, recomenda-se a implementação das sugestões propostas, acompanhada de um plano de monitorização que permita avaliar os impactos das mudanças ao longo do tempo.

Referências

Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M., & Giallanza, A. (2023). Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review. *Heliyon*, *9*(5), e15852. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15852

Bonaccorsi, A., Carmignani, G., & Zammori, F. (2011). Service Value Stream Management (SVSM): Developing Lean Thinking in the Service Industry. *Journal of Service Science and Management*, *04*(04), 428–439. https://doi.org/10.4236/jssm.2011.44048

Edtmayr, T., Sunk, A., & Sihn, W. (2016). An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. *Procedia CIRP*, *41*, 289–294. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.037

Horsthofer-Rauch, J., Schumann, M., Milde, M., Vernim, S., & Reinhart, G. (2022). Digitalized value stream mapping: review and outlook. *Procedia CIRP*, *112*, 244–249. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.079

Lugert, A., Völker, K., & Winkler, H. (2018). Dynamization of Value Stream Management by technical and managerial approach. *Procedia CIRP*, *72*, 701–706. https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.284

Oberhausen, C., & Plapper, P. (2015). Value Stream Management in the "Lean Manufacturing Laboratory." *Procedia CIRP*, *32*, 144–149. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.087

Rakhmasari, A. A., & Dharmayanti, I. (2023). Integrasi Value Stream Mapping dengan Simulasi Kejadian Diskrit: Studi Kasus Lean Distribution. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, *9*(2), 117–126. https://doi.org/10.30656/intech.v9i2.6063

Rocha, M. A. B. (n.d.). A contribuicao do value stream mapping para obtencao de metricas de atividades de equipes de software em projetos no contexto lean agile. *19th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management*. https://doi.org/10.5748/19CONTECSI/MSC/PRM/7097

Sabah, A., Al-Kindi, L., & Al-Baldawi, Z. (2023). Adopting Value Stream Mapping as a Lean Tool to Improve Production Performance. *Engineering and Technology Journal*, *41*(6), 1–14. https://doi.org/10.30684/etj.2023.136269.1307

Serafim Silva, E., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., Liu, G., & Giannetti, B. F. (2024). Value stream mapping for sustainability: A management tool proposal for more sustainable companies. *Sustainable Production and Consumption*, *47*, 329–342. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.009

Tapping, D. (2002). *Value Stream Management*. Productivity Press. https://doi.org/10.4324/9780429271427

ID47
Estratégias Avançadas na Gestão de um Armazém de Papel numa Empresa do Setor da Embalagem

I. Mattos ([1]), J. Vasco ([1,2]), M. C. Gaspar ([1,2])
marcelo.gaspar@ipleiria.pt

([1]) Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal
([2]) CDRSP – Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal

Resumo

Para as empresas atuais, a inovação e a competitividade são duas metas permanentes alinhadas com as suas missões e valores. A necessidade de adaptação às dinâmicas de mercado, aliadas à pressão constante pelo incremento continuado da sua eficiência operacional, leva a que sejam necessários esforços constantes em termos de gestão e logística. No presente estudo, que teve lugar numa empresa do setor da embalagem, procurou-se realizar a implementação das ferramentas e metodologias de Engenharia e Gestão Industrial num projeto aplicado ao armazém de papel da organização. Entre outros, propôs-se a mudança de um paradigma *Last-In, First-Out* (LIFO) para *First-In, First-Out* (FIFO) na gestão desse armazém. Aliadas a essa mudança, foram ainda propostas a redefinição do layout do armazém, a organização dos materiais por famílias de papel, o estudo de capacidade e a definição de novos procedimentos para a receção e consumo de papel. Como resultados relevantes deste estudo, pode-se destacar um incremento efetivo da capacidade operacional do armazém em estudo, assim como um aumento significativo na eficiência das operações de movimentação de papel no armazém em estudo.

Palavras-Chave: Logística, LIFO, FIFO, Método ABC, Gestão de Operações

1. Introdução

No atual cenário empresarial, a competitividade é uma meta constante para as organizações que buscam não apenas sobreviver, mas prosperar em mercados dinâmicos e altamente competitivos. A evolução contínua dos mercados exige das empresas um esforço constante em termos de logística e gestão com vista a promover a eficiencia das suas operações, bem como a satisfação dos seus clientes.

Considerando que o presente estudo decorre numa empresa dedicada ao fabrico de embalagens em papel, destaca-se a importância deste segmento dedicado à produção de embalagens que são amplamente utilizadas para transporte e armazenamento devido à sua durabilidade, leveza e capacidade de reciclagem. A opção de focar o presente estudo na definição de estratégias avançadas para a gestão de armazéns de papel numa empresa deste setor sublinha a necessidade premente de desenvolver e aplicar soluções inovadoras e sustentáveis que permitam responder aos desafios únicos desta área.

Este estudo tem como foco principal o armazém de matéria prima de papel, um componente essencial na sua cadeia de abastecimento. Os objetivos principais deste estudo incluem a redefinição do layout do armazém, a organização dos materiais por famílias de papel, o estudo de capacidade e a definição de novos procedimentos para o recebimento e consumo de papel, visando melhorar a eficiência operacional e garantir uma gestão otimizada dos recursos disponíveis. Neste sentido, a área da Engenharia e Gestão Industrial, com base numa abordagem interdisciplinar, torna-se essencial para identificar, analisar e desenvolver soluções para estes problemas, aplicando um conjunto de técnicas analíticas e práticas que podem contribuir para a melhoria da eficiência na gestão deste tipo de armazém.

2. Enquadramento Teórico

A gestão eficaz dos armazéns emerge como um elemento crucial para o funcionamento integrado das operações internas e externas das empresas. Os armazéns desempenham um papel vital na capacidade de uma empresa alinhar as suas direções estratégicas com a procura do mercado, garantindo desse modo o fluxo contínuo e eficiente de

produtos através de processos como a receção, o armazenamento e a expedição (Bertolotti et al., 2019; Santos et al., 2021). Neste contexto, os espaços de armazenamento desempenham um papel fundamental nas operações, pois visam assegurar que os fluxos de materiais e produtos sejam geridos de forma a atender às necessidades tanto das operações internas como da procura externa por parte do mercado.(Coza, 2024).

Neste contexto específico, a filosofia de gestão de inventário, como os métodos *First-In, First-Out* (FIFO) e *Last-In, First-Out* (LIFO), emergem como ferramentas cruciais para a gestão de armazéns (Alamri & Syntetos, 2018). Por um lado, o FIFO prioriza o uso dos materiais mais antigos, enquanto que o LIFO privilegia os mais recentes. Por seu turno, o FIFO é particularmente relevante em setores onde a preservação da qualidade do produto ao longo do tempo é vital. Este método garante que os produtos mais antigos sejam usados antes que percam sua utilidade, reduzindo desse modo o risco de desperdício devido à deterioração ou obsolescência (Sembiring et al., 2019).

A seleção entre as metodologias FIFO e LIFO deve, portanto, ser baseada numa análise criteriosa das especificidades operacionais da empresa e das condições de mercado em que opera. Empresas que operam com produtos perecíveis, ou que necessitam de um alto grau de rotatividade de stocks, devem optar pelo FIFO, enquanto que as que precisam de gerir custos em contextos de preços flutuantes podem optar pelo LIFO (Chołodowicz & Orłowski, 2021; Tjia, 2023). Cumulativamente, a seleção e aplicação destas metodologias deve estar suportada por uma abordagem integrada e ampla de definição das estratégias de gestão de armazéns das organizações em estudo, o que inclui o dimensionamento correto das instalações, o estudo e a caracterização dos processos e o uso de tecnologias de rastreamento e controlo de inventário (Mogbojur et al., 2022).

Em síntese, compreender e aplicar adequadamente princípios como o FIFO e o LIFO não apenas permite incrementar a eficiência na gestão de armazéns (Kurt et al., 2024), como ainda fortalece a capacidade das empresas darem resposta às expectativas do mercado, promovendo dessa forma um ambiente operacional eficiente e orientado para o sucesso a longo prazo, garantindo desse modo a sustentabilidade e a competitividade das organizações no mercado global (Ahmadi Tootkaleh et al., 2024; Murmu et al., 2023; Shekhawat et al., 2022).

3. Caracterização do Problema

Conforme referido na secção anterior, para se proceder à definição de estratégias que visem um incremento de eficiência na gestão dos armazéms de uma organização, importa realizar uma a análise criteriosa das especificidades operacionais da empresa e das características específicas dos seus processos e operações.

3.1. Sistema Produtivo

A empresa em estudo atua no setor das embalagens de papel. No âmbito do presente artigo, o foco do trabalho centra-se no armazém exterior de matéria-prima da empresa. Neste contexto, irá identificar-se nas operações do processo que têm lugar no armazém em estudo bem como uma análise de diagnóstico do armazém.

Este sistema produtivo pode ser descrito em várias etapas principais, desde o recebimento das matérias-primas até a expedição do produto final. O processo produtivo começa com a receção das bobinas de papel, que constituem a matéria-prima fundamental para a produção das embalagens. Essas bobinas são recebidas de fornecedores cuidadosamente selecionados e são sujeitas a uma inspeção rigorosa para garantir a conformidade com os padrões de qualidade da empresa. Após a inspeção, as bobinas são registadas no sistema de gestão de stock e armazenadas adequadamente.

O presente projeto irá focar-se especificamente nas etapas do processo relacionadas com o armazenamento da matéria-prima, sob a forma de bobinas de papel, no armazém externo, assim como a posterior seleção e desbobinamento para o processo, de acordo com as seguintes operações:

- **i)** **Armazenamento**: Após a receção e inspeção, as bobinas de papel são armazenadas num espaço com ambiente controlado. A armazenagem adequada é crucial para manter a qualidade do papel e garantir que esteja pronto para uso quando necessário. O controlo das condições ambientais, como a temperatura e a humidade, são essenciais para evitar a degradação do material.
- **ii)** **Seleção das Bobinas**: Este processo envolve a escolha das bobinas específicas necessárias à produção, conforme a programação prevista para essa mesma produção. A seleção é realizada com base em diferentes critérios, tais como o tipo de papel, a sua gramagem e a ordem de chegada à organização com vista a garantir a utilização eficiente dos materiais.
- **iii)** **Desbobinamento**: As bobinas selecionadas são preparadas para o processamento, passando por uma fase intermédia do processo em que se realiza o seu desbobinamento. Esta operação é crítica para a

alimentação do equipamento de produção das embalagens. Durante o processo de desbobinamento, o papel sofre um tratamento específico com vista a incrementar sua flexibilidade e permitir a formação das embalagens.

Depois de formados os componentes das embalagens, estes são posteriormente empilhados e paletizados. A empresa utiliza empilhadores automáticos para maximizar a eficiência e minimizar danos durante o manuseamento. As paletes são então transportadas para o armazém de produto final ou diretamente para a área de expedição, onde são preparadas para entrega aos clientes. A logística eficiente destas operações é suportada por um sistema de gestão de stocks que garante um fluxo contínuo de materiais e de produtos acabados.

3.2. Layout do Armazém de Matéria-Prima

O layout do armazém de matéria-prima da empresa é composto por duas áreas principais: o armazém externo, onde as bobinas de papel são recebidas e inicialmente armazenadas, e o armazém interno, onde essas bobinas são processadas.

No armazém externo, as bobinas de papel são posicionadas verticalmente em filas organizadas de pilhas de bobinas ao longo do espaço do armazém. Este espaço é utilizado para estocar as bobinas que são recebidas diretamente do cais de carga. O cais é estrategicamente localizado à entrada do armazém com vista a facilitar o descarregamento e movimentação das bobinas até a área de armazenagem inicial. As bobinas são então mantidas nesta área até que sejam necessárias na linha de produção.

As bobinas de papel são transferidas do armazém externo para o armazém interno de acordo com as ordens de produção. O armazém interno encontra-se estrategicamente localizado próximo do equipamento de produção das embalagens de papel enquanto o armazém externo recebe as matérias-primas e alimentam o processo. O armazém externo é aquele que se encontra em estudo no presente trabalho e está representado esquematicamente na Figura 1.

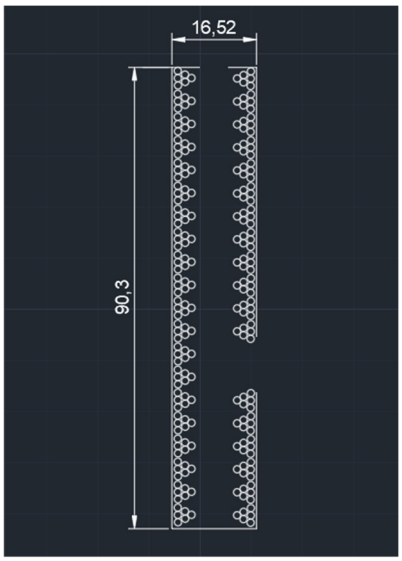


Figura 1: Representação esquemática do layout externo da empresa.

3.3. Definição do Problema

A empresa possui dois armazéns dedicados ao armazenamento das bobinas de papel. O armazém interno, localizado próximo ao equipamento de formação das embalagens, que possui corredores projetados para diferentes referências de bobina, permitindo armazenar um máximo de sete bobinas de base encostadas à parede, enquanto as restantes bobinas podem estar dispersas pelo espaço, mas sempre próximas das suas referências. Já no armazém externo, a configuração permite um máximo de quatro bobinas de base encostadas a cada parede, visando desse modo maximizar a capacidade atual de armazenagem no espaço.
A filosofia atualmente implementada na gestão dos armazéns de matéria-prima adota predominantemente o método LIFO (*Last In, First Out*), aplicando-o em 80% das suas operações. Este método é caracterizado pela

utilização das matérias-primas mais recentes antes das mais antigas, o que pode levar à obsolescência e ao desgaste das bobinas armazenadas por períodos prolongados. A configuração dos armazéns da empresa envolve o posicionamento das bobinas junto às paredes, organizadas em corredores adjacentes, o que impõe certas limitações e desafios logísticos.

Quando novas bobinas chegam à empresa, estas são posicionadas à frente do material já existente ou sobrepostas a outras bobinas, devido à configuração, que não permite a sua colocação atrás das bobinas já armazenadas. Este sistema, conhecido como *Drive-in*, é caracterizado pela presença de um único corredor que proporciona acesso aos produtos. Apesar de eficiente, em termos de espaço, este método aumenta significativamente o risco de obsolescência e desgaste das bobinas, principalmente devido às condições atmosféricas.

Um dos principais riscos também identificados no armazenamento atual é o espaçamento inadequado entre as filas de bobinas e as paredes do armazém. Atualmente, a empresa utiliza um espaçamento de apenas 70 cm, enquanto a recomendação mínima é de 1 metro. Esse espaço insuficiente compromete a circulação segura dos equipamentos e a retirada eficiente das bobinas. Além disso, a utilização de empilhadores com braçadeiras, que são as atualmente utilizados para manipular e transportar as bobinas, adicionam um elemento de risco, dada a necessidade de manobras com elevada precisão em espaços confinados e restritos.

Outro desafio operacional significativo é o que está associado ao recebimento de matérias-primas, pois existe apenas um único cais disponível para esse efeito. Este facto introduz um gargalo significativo ao processo, na medida em que sempre que chegam novas bobinas à empresa, torna-se necessário parar outros processos enquanto se procede à descarga e inspeção da matéria-prima. Esta limitação no recebimento pode impactar negativamente a eficiência operacional e aumentar os tempos de espera, afetando desse modo a produtividade geral do armazém.

Pretende-se com o presente estudo implementar as ferramentas e metodologias de Engenharia e Gestão Industrial num projeto aplicado ao armazém de papel da organização, com o objetivo de analisar a possível redefinição do layout do armazém, a organização das matérias-primas sob a forma de bobinas de papel, estudar a sua capacidade e definir novos procedimentos para a receção e consumo de papel na organização.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados

Como resultado do período de imersão e observação na empresa, bem como das entrevistas realizadas com os responsáveis desta secção produtiva, foi possível proceder a uma análise detalhada dos problemas associados ao sistema de armazenagem atual, culminando na elaboração de um diagrama de *Ishikawa* (Figura 2). Este diagrama de causa e efeito permitiu identificar e categorizar as principais causas de ineficiências e riscos no armazenamento das bobinas. As causas foram divididas em várias categorias, proporcionando uma visão abrangente dos fatores que impactam negativamente o sistema de armazenagem: métodos, materiais, mão de obra, medidas, meio ambiente e máquinas.

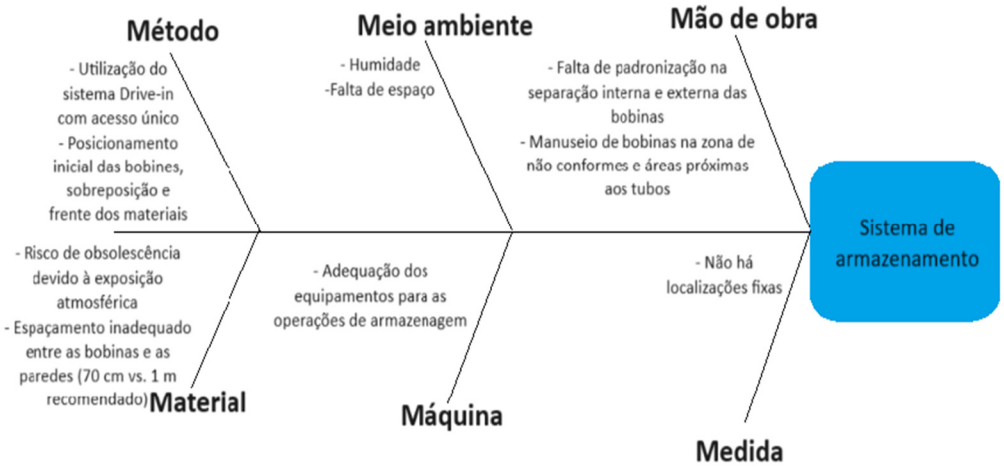


Figura 2: Diagrama de causa-efeito do problema em estudo

A dependência do método LIFO pode levar à obsolescência das bobinas mais antigas, enquanto o sistema *Drive-in* limita a organização e aumenta o risco de desgaste. As bobinas são vulneráveis às condições atmosféricas e aos riscos de danos físicos devido ao manuseio inadequado. A mão-de-obra necessita de treino e formação específica para o manuseamento seguro das bobinas, com eventual possibilidade de ocorrência de erros humanos na organização e movimentação das mesmas.

O espaçamento inadequado entre filas e paredes e a falta de critérios claros para a disposição das bobinas são medidas críticas a serem revistas. As condições atmosféricas nos armazéns devem ser controladas para garantir a preservação das matérias-primas. A utilização de empilhadores com braçadeiras requer manobras precisas, de modo particular, considerando a exiguidade do espaço atual para a realização dessas mesma manobras. Como resultado da caracterização preliminar do layout atual do armazém externo para a organização das bobinas de papel podem destacar-se os seguintes pontos-chave:

- Cada coluna tem, no máximo, 4 rolos de altura.
- As bobinas estão agrupadas em arranjos de base triangular para melhor acesso dos empilhadores.
- Cada arranjo de base triangular tem, no máximo, um comprimento de 4 bobinas
- A distância entre grupos de base triangular é de aproximadamente 1,8 m.
- Cada bobina tem um diâmetro de 1,40 metros.

Cálculo da capacidade funcional atual do armazém exterior

Considerando atualmente as bobinas de papel se encontram distribuidas em arranjos triangulares para melhor acesso por parte dsos empilhadores, e que cada arranjo de base triangular tem, no máximo, um comprimento de 4 bobinas, verifica-se que:

- A base de cada arranjo triangular permite acomodar, no máximo:
  4+3+2+1 = 10 bobinas
- A largura máxima de cada arranjo triangular é de:
  4 x 1,4 m = 5,60 m
- O espaço entre arranjos triangulares é de 1,8 metros.
- Cada arranjo de base triangular permite acomodar, no máximo, 4 níveis em altura de bobinas de papel.

4.1. Estudo da Capacidade Atual

A Figura 3 apresenta uma representação esquemática da configuração atual de bobinas numa base triangular para melhor acesso dos empilhadores de braçadeiras. As bobinas estão dispostas em forma triangular e as setas indicam como o empilhador tem acesso às bobinas. Como estão referências distintas colocadas no mesmo espaço de base triangular, torna-se necessário proceder à removimentação de bobinas para aceder às que estão por baixo, ou por trás das bobinas colocadas mais recentemente. Adicionalmente, para além de referências distintas, as bobinas incompletas são armazenadas no mesmo espaço, o que aumenta a complexidade e o tempo na gestão e no acesso a referências que não estejam no ponto mais à frente e/ou mais alto da pilha de bobinas.

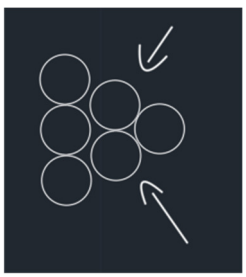


Figura 3: Representação esquemática do posicionamento e acesso às bobinas de papel.

Com base na descrição anterior, pode verificar-se que a capacidade operacional do armazém exterior com a organização atual permite acomodar, no máximo, 12 + 11 arranjos de base triangular de bobinas de papel. Assim, pode inferir-se que a capacidade operacional do armazém com base na filosofia de armazenamento LIFO é de 12x40 + 11x40 = 920 bobinas de papel.

4.2. Apresentação de Novas Propostas

Com base na organização atual do armazém, irá propor-se um conjunto de novas soluções com vista a potenciar um aumento efetivo da capacidade do atual armazém exterior da empresa, assim como melhorar a gestão dos mesmo espaços e existências.

Proposta de melhoria para transformação de LIFO para FIFO

O objetivo desta proposta é melhorar a eficiência e a organização no armazenamento e movimentação de bobinas de papel. Atualmente, o sistema LIFO (*Last In, First Out*) utilizado tem gerado dificuldades na gestão de inventário e na agilidade do processo produtivo. A implementação de um sistema FIFO (*First In, First Out*) e a separação das bobinas por famílias através de um layout com estantes dinâmicas em U com 4 níveis promete solucionar esses problemas, melhorando a produtividade e a gestão de stock. Neste sentido, tratando-se de uma proposta integrada, podem destacar-se os seguintes passos intermédios com vista a atingir o objetivo proposto:

- **Implementar o sistema FIFO**: Garantir que as primeiras bobinas armazenadas sejam as primeiras a serem utilizadas, evitando obsolescência e deterioração do material.

- **Melhorar a eficiência de carregamento e descarregamento**: Implementar um fluxo contínuo onde o carregamento ocorre numa das extremidades da estante dinâmica e o descarregamento na outra.

- Organizar as bobinas por famílias: Facilitar a localização e a gestão das bobinas de acordo com suas especificidades.

- **Reduzir o tempo de percurso até as máquinas**: Posicionar as famílias de bobinas conforme a análise ABC para otimizar o fluxo de transporte.

- **Incrementar o espaço de armazenamento**: Utilizar estantes dinâmicas em U com 4 níveis para maximizar o uso do espaço vertical e horizontal disponível.

- **Gerir em tempo real as sobras de bobinas**: Designar uma área específica para armazenar as sobras das bobinas utilizadas, facilitando sua reutilização.

Implementar o sistema FIFO: Com vista a permitir implementar a filosofia FIFO, importa que a primeira das bobinas armazenadas num dado local se apresente disponível para utilização sempre que o planeamento da produção assim o requeira. Neste sentido, o recurso a estantes dinâmicas em U permitem que, após a alimentação da bobina de papel na estante, esta deslize automaticamente para o ponto de carregamento adjacente na mesma estante. Este deslizamento ocorre pelo desnível gravítico entre os pontos de alimentação e de carregamento, assim como a uma sequência de rolos de transmissão no mesmo percurso. Considerando a altura de rolos permitida pela atual disposição do armazém, assim como da altura de operação dos empilhadores, podem-se implementar unidades de estantes dinâmicas com 4 níveis de altura, conforme representado esquematicamente na Figura 4.

Melhorar a eficiência de carregamento e descarregamento: A implementação destas unidades de estantes permite uma mais fácil organização e gestão das bobinas de papel mediante a sua separação por famílias de bobinas. As estantes serão encostadas na parede, com o carregamento das bobinas sendo realizado numa extremidade do U e o descarregamento na extremidade adjacente. Este layout permitirá que as bobinas mais antigas (primeiras a entrar) sejam as primeiras a sair, garantindo o sistema FIFO.

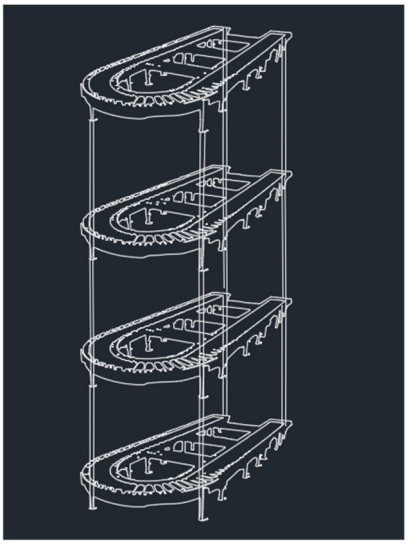


Figura 4: Representação esquemática das estantes dinâmicas em U com 4 níveis.

Separação por Famílias e Análise ABC: Para além da utilização de soluções por estantes dedicadas, propõe-se a organização dos armazéns por famílias de produtos com base no histórico recente de produção, conforme representado esquematicamente na imagem da direita na Figura 5. As bobinas serão organizadas por famílias, com cada nível ou seção das estantes dedicado a uma família específica. A posição das famílias no layout será definida com base na análise ABC, que classifica os itens conforme sua importância e frequência de uso.

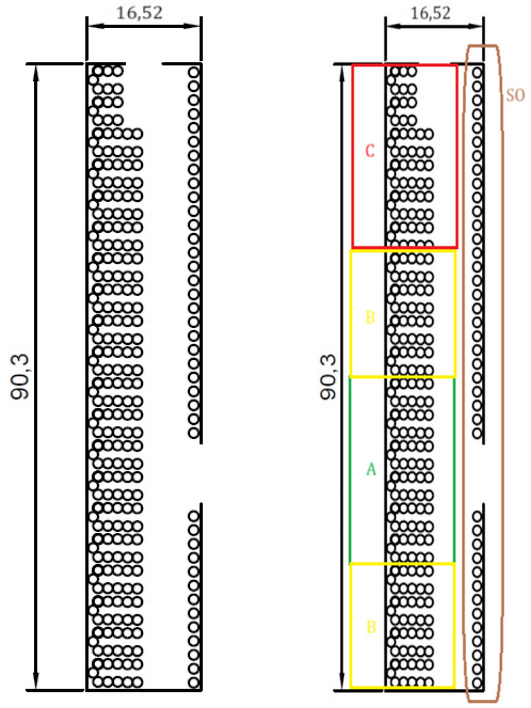


Figura 5: Representação esquemática das estantes dinâmicas em U com 4 níveis.

A análise ABC foi conduzida para classificar os itens do stock com base no seu consumo real nos últimos 3 meses de operação, conforme Tabela esquerda da Figura 06.
Para a implementação do método ABC começou por se realizar o cálculo do Valor Total para cada referência no período em estudo. Seguidamente, procedeu-se à ordenação dos Itens, sendo que os itens foram ordenados por ordem decrescente de valor total. No passo seguinte, procedeu-se ao cálculo das percentagens individuais e

acumuladas do valor total. Para a classificação ABC considerou-se que na categoria A se integravam os itens que representam aproximadamente 80% do valor total acumulado, na classe B os itens que representam cerca de 15% do valor total acumulado e, por fim, na classe C os itens que representam os 5% restantes do valor total acumulado. Na Figura 6 apresenta-se ainda o gráfico para visualizar a distribuição dos itens conforme explicitado.

	Percentagem Individual	Percentagem Acumulada	Classificação
REF 7	11,47%	11,47%	A
REF 11	10,52%	21,99%	A
REF 5	9,77%	31,76%	A
REF 6	8,67%	40,43%	A
REF 8	8,53%	48,96%	A
REF 9	6,62%	55,57%	A
REF 1	5,58%	61,15%	A
REF 22	5,54%	66,69%	A
REF 16	4,70%	71,39%	A
REF 18	4,63%	76,02%	A
REF 4	4,57%	80,59%	B
REF 2	3,39%	83,98%	B
REF 10	2,99%	86,96%	B
REF 14	2,83%	89,79%	B
REF 12	2,58%	92,37%	B
REF 3	2,57%	94,94%	B
REF 13	2,34%	97,28%	C
REF 15	0,97%	98,25%	C
REF 23	0,59%	98,84%	C
REF 17	0,48%	99,32%	C
REF 20	0,19%	99,51%	C
REF 21	0,18%	99,68%	C
REF 24	0,08%	99,76%	C
REF 25	0,07%	99,83%	C
REF 26	0,05%	99,89%	C
REF 27	0,04%	99,92%	C
REF 28	0,03%	99,95%	C
REF 29	0,02%	99,97%	C
REF 30	0,02%	99,99%	C
REF 31	0,01%	100,00%	C

Classe	Corte	Proporção de SKUs	Proporção de Valor
A	80%	33,33%	76,02%
B	95%	20,00%	18,93%
C	100%	46,67%	5,06%

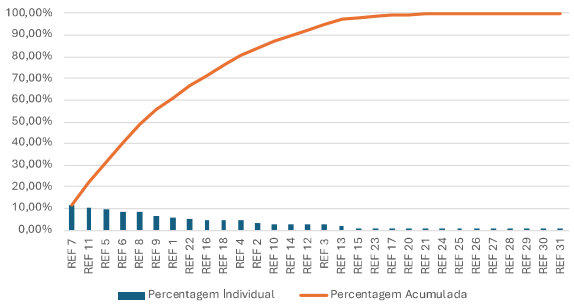


Figura 6: Análise ABC e gráfico resultante.

Reduzir o tempo de percurso até as máquinas: Conforme representado esquematicamente na imagem da direita na Figura 04, as famílias de bobinas classificadas como A, que são as mais utilizadas, serão posicionadas mais próximas da saída do armazém para máquina, reduzindo o tempo de percurso e aumentando dessa forma a sua eficiência. Do mesmo modo, nos *slots* seguintes posicionam-se as bobinas de papel classificadas como B e, por fim, nos *slots* mais distantes as bobinas menos usadas, classificadas como C. O diagrama de esparguete da Figura 7 permite mapear o percurso das bobinas desde o armazenamento até as máquinas. Neste diagrama permite visualizar e otimizar os fluxos de transporte, minimizando as distâncias percorridas de acordo com a sua classificação ABC.

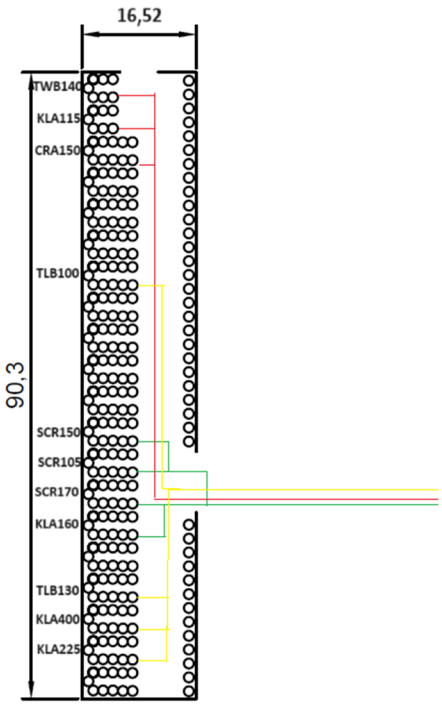


Figura 7: Diagrama de esparguete.

Incrementar o espaço de armazenamento: O armazenamento das bobinas de papel nas estantes dinâmicas em U (Figura 05) resultam numa solução significativamente mais compacta do que a atual disposição de base triangular atualmente implementada na empresa (Figura 01). Isto resulta, consequentemente, num incremento significativo do número máximo de bobinas de papel que se possam armazenar no mesmo espaço.

Gerir em tempo real as sobras de bobinas: Atualmente, as bobinas de papel que não são totalmente consumidas durante o processo de produção voltam a ser colocadas no armazém exterior para futura utilização. No entanto, a ausência de uma zona especificamente designada para essas bobinas dificulta a sua catalogação e identificação no armazém. Assim, propõe-se que uma das áreas do armazém exterior seja dedicada exclusivamente ao localização destas bobinas, como representado esquematicamente na imagem à direita da Figura 05. Além disso, a etiquetagem deverá ser melhorada, pois, atualmente, apenas é registado nas bobinas usadas o comprimento restante de papel disponível para novo processamento. Adicionalmente, o recurso a um sistema RFID (*Radio Frequency Identification*) para etiquetar as bobinas parcialmente usadas permite uma rastreabilidade das bobinas de papel, facilitando desse modo a monitorização do inventário em tempo real e a localização exata de cada bobina no armazém, o que reduz o tempo gasto na procura de materiais. Por fim, outra vantagem do recurso à etiquetagem das bobinas usadas por RFID incrementa a precisão nas informações sobre o stock de bobinas parcialmente usadas, tais como o comprimento restante de papel ou a data de entrada no armazém. Isto garante que os materiais sejam usados de maneira mais eficiente, minimizando desse modo o desperdício e otimiza o fluxo de produção.

Estudo da capacidade com o layout proposto

A Figura 07 ilustra a disposição proposta para as bobinas de papel nas duas tipologias de estantes dinâmicas em U. Conforme representado, as bobinas estão dispostas em configurações com comprimentos distintos. Assim, com vista a permitir a movimentação dos empilhadores no armazém externo, propõe-se que não seja excedida a largura correspondente a 8 x o diâmetro das bobinas, tal como acontece atualmente.

Considerando que se prevê a instalação de 28 unidades de estantes dinânicas em U de 4 nível com a capacidade, sendo que 26 destas permitem alojar 4 x 13 = 52 bobinas e outras duas 4 x 7 = 28 bobinas, obtém-se uma capacidade para armazenar (26 x 52) + (2 x 28) = 1408 bobinas novas. A estas acresce toda a região dedicada a bobinas usadas, que acrescenta 4 x 48 = 192 bobinas de papel. Assim, prevê-se que a nova configuração de layout proposto na Figura 07 resulte numa capacidade máxima de 1600 bobinas.

Assim, a capacidade do armazém, segundo a configuração proposta passou de 920 bobinas para 1600, o que se traduz num aumento de 680 bobinas, o que representa um incremento de aproximadamente 74% face à capacidade máxima atual. É de referir ainda que, devido à atual organização da gestão do armazém pela metodologia LIFO, nunca seria possível uma ocupação efetiva do armazém atual nas 920 bobinas, devido à dificuldade em aceder às bobinas incompletas para cada referência.

4.4. Discussão dos Resultados

A implementação da nova proposta permite antever um conjunto significativo de vantagens operacionais para o processo. Destacam-se nos seguintes pontos os principais benefícios esperados mediante a sua implementação na empresa em estudo:

- **Redução de desperdícios**: Menor risco de obsolescência e deterioração das bobinas de papel.

- **Melhoria na gestão de stock**: Facilidade na localização e movimentação das bobinas, resultando numa gestão de stock mais eficiente.

- **Aumento da produtividade**: Redução do tempo de busca e movimentação das bobinas, aumentando a eficiência operacional.

- **Otimização do espaço**: Melhor utilização do espaço vertical e horizontal disponível, permitindo um armazenamento mais organizado e acessível.

- **Redução do tempo de percurso**: Posicionamento estratégico das famílias de bobinas conforme a análise ABC, resultando em menores tempos de percurso e maior eficiência no transporte interno.

A transformação do sistema de armazenamento de LIFO para FIFO, combinada com a organização das bobinas por famílias em estantes dinâmicas em U com 4 níveis, proporcionará uma melhoria significativa na eficiência e na gestão do stock de bobinas de papel, com um incremento na capacidade de aproximadamene 74%. Cabe destacar que, devido à adoção da metodologia LIFO na gestão do armazém, nunca seria possível alcançar uma ocupação efetiva das 920 bobinas no armazém atual, o que permite facilmente referir que a capacidade aliada à nova tipologia de estantes, assim como à sua implementação na forma de novo layout, praticamente duplica a capacidade operacional atual do armazém em estudo.

Espera-se que a inclusão da análise ABC e a otimização dos percursos através do diagrama de esparguete proporcionem benefícios adicionais na eficiência do armazém mediante um fluxo de transporte mais ágil e mais curto, resultando em benefícios tangíveis para a operação logística e produtiva da empresa. Para tal, ir-se-á validar seguidamente o incremento de eficiência da nova proposta com base em três cenários organizacionais distintos.

Análise e discussão de diferentes cenários

Como cenário de partida, considera-se a implementação do método ABC com base no histórico dos últimos três meses de produção e o rearranjo na organização das bobinas com base nas famílias de bobinas proposta no atual estudo A velocidade média considerada para o empilhador foi de 10 km/h.

Cenário 1: Proposta de distribuição por prioridades identificados pela implementação do método ABC e representado na imagem da direita na Figura 05. Neste cenário, conforme ilustrado pela Tabela 1, o tempo total para movimentar as bobinas de papel correspondentes a 3 meses de produção na unidade em estudo é de 1095 minutos e uma distância percorrida pelo empilhador de 182,5 km.

Tabela 1: Tempos e distâncias de movimentação das bobinas calculadas com base no cenário 1 (proposta de armazenamento deste estudo).

	Total unidades	Classificação	Distância total percorrida (m)	Tempo total (min)
REF 7	973,0	A	32545	195
REF 11	891,7	A	33840	203
REF 5	828,9	A	31456	189
REF 6	734,9	A	31195	187
REF 4	387,4	B	16445	99
REF 14	239,8	B	11257	68
REF 12	218,8	B	11256	68
REF 3	218,2	B	14174	85
REF 29	1,9	C	146	0,9
REF 30	1,7	C	148	0,9
REF 31	0,7	C	59	0,4
Total	8479,7		**182521**	**1095**

Cenário 2: Proposta de cenário totalmente aleatório com base na implementação do método ABC. Neste cenário, conforme ilustrado pela Tabela 2, o tempo total para movimentar as bobinas de papel correspondentes a 3 meses de produção na unidade em estudo é de 1540 minutos e uma distância percorrida pelo empilhador de 256,7 km. Esta nova distribuição corresponde a um incremento de tempo e distância em cerca de 40%, quando comparado com a distribuição proposta pelo presente estudo e representado pelo cenário 1.

Tabela 2: Tempos e distâncias de movimentação das bobinas calculadas com base no cenário 2 (proposta de distribuição aleatória).

	Total unidades	Classificação	Distância total percorrida (m)	Tempo total (min)
REF 14	239,8	B	8020	48
REF 6	734,9	A	27888	167
REF 4	387,4	B	14702	88
REF 7	973,0	A	41302	248
REF 12	218,8	B	9287	56
REF 31	0,7	C	31	0,2
REF 29	1,9	C	95	0,6
REF 3	218,2	B	14174	85
REF 11	891,7	A	69954	420
REF 5	828,9	A	71076	426
REF 30	1,7	C	156	0,9
Total	4496,8		**256685**	**1540**

Cenário 3: Proposta de cenário mais desfavorável mediante a troca das referências A e C identificados pela implementação do método ABC. Neste cenário, conforme ilustrado pela Tabela 3, o tempo total para movimentar as bobinas de papel correspondentes a 3 meses de produção na unidade em estudo é de 1961 minutos e uma distância percorrida pelo empilhador de 326,9 km. Esta nova distribuição corresponde a um incremento de tempo e distância em cerca de 80%, quando comparado com a distribuição proposta pelo presente estudo e represntado pelo cenário 1.

Tabela 3: Tempos e distâncias de movimentação das bobinas calculadas com base no cenário 2 (proposta de troca das referências A e C).

	Total unidades	Classificação	Distância total percorrida (m)	Tempo total (min)
REF 31	0,7	C	22	0,1
REF 30	1,7	C	65	0,4
REF 29	1,9	C	70	0,4
REF 3	218,2	B	9264	56
REF 12	218,8	B	9287	56
REF 14	239,8	B	11257	68
REF 4	387,4	B	19932	120
REF 6	734,9	A	47730	286
REF 5	828,9	A	65025	390
REF 11	891,7	A	76464	459
REF 7	973,0	A	87809	527
Total	4496,8		326925	1962

Ao analisar os três cenários distintos na gestão de armazém de papel da empresa em estudo podem observar-se diferenças substanciais em termos de eficiência e tempo de movimentação que sublinham a importância de uma disposição estratégica dos materiais.

No cenário 1, que se apresenta como o mais eficiente, observamos um tempo total de movimentação de apenas 1095 minutos. Esta eficiência deriva de uma organização otimizada das referências, que permite uma rápida acessibilidade e movimentação dos materiais, refletindo-se diretamente na redução do tempo operacional e potencial diminuição dos custos associados ao armazém. Esta configuração não apenas maximiza a produtividade, mas também otimiza o uso do espaço e dos recursos humanos, oferecendo um modelo eficiente de operação.

O cenário mais desfavorável apresenta um tempo total de 1962 minutos, evidenciando uma aproximadamente 80% menor que a do cenário proposto. Neste caso, os tipos de papel mais utilizados são colocados em posições mais distantes, o que não é ideal. O cenário 2, que resulta da aleatoridade no posiocionamneto das bobinas de papel apresenta resultados intermédios quando comparados com os outros dois cenários analisados neste estudo.

Em síntese, pode relevar-se da análise destes diferentes cenários que a proposta otimizada destaca a importância crítica de uma gestão eficaz do armazém de papel, onde a disposição estratégica das bobinas de papel pode significativamente influenciar a eficiência operacional no armazém externo da empresa em estudo.

5. Conclusão

O presente estudo focou-se na identificação de um conjunto de estratégias para incrementar a eficiência operacional de um armazém de papel numa empresa do setor da embalagem. Durante a análise e discussão das práticas de gestão dos seus armazéns de papel, identificou-se a adoção da metodologia *Last-In*, *First-Out* (LIFO). Esta análise foi fundamental para entender a dinâmica atual na gestão dos armazéns da empresa.

A avaliação da capacidade do armazém forneceu as bases para uma análise quantitativa dos impactos das soluções sugeridas, que incluíam a reorganização do layout, a categorização dos materiais por famílias de papel, estudos de capacidade e a implementação de novos procedimentos de recebimento e consumo de papel. A transição para o sistema *First-In, First-Out* (FIFO) resultou num conjunto de melhorias significativas na eficiência operacional e um aumento considerável na capacidade do armazém, evidenciando o sucesso e o impacto positivo das novas práticas de gestão do armazém propostas.

A mudança para um paradigma FIFO, baseada nas recomendações para a organização e gestão do armazém, ofereceu benefícios significativos. Esta alteração não só melhorou a eficiência dos eus processos, mas também quase que duplicou a capacidade operacional atual do armazém, demonstrando o potencial e impacto positivo das novas práticas propostas para a gestão do armazém de papel.

O novo modelo de organização provou igualmente trazer vantagens substanciais quando comparado com uma disposição aleatória das bobinas de papel, demonstrando melhorias significativas na movimentação das bobinas

para a máquina de fabrico das embalagens. Esta elevada discrepância sublinha a importância crítica de uma gestão eficaz do armazém de papel, onde a disposição estratégica das bobinas pode influenciar significativamente a eficiência operacional na empresa em estudo, destacando deste modo a relevância da estratégia proposta para otimização dos processos.

Por fim, a proposta de adoção de um sistema RFID (*Radio Frequency Identification*) para etiquetar bobinas de papel parcialmente utilizadas permite uma rastreabilidade eficaz das bobinas de papel, facilitando a monitorização em tempo real do inventário e a localização precisa de cada bobina no armazém. Além disso, melhora a precisão dos dados relativos ao stock, como o comprimento de papel restante ou a data de entrada no armazém. Esta tecnologia assegura uma utilização mais eficiente dos materiais, reduzindo o desperdício e otimizando o fluxo produtivo.

Como limitações do presente estudo, refere-se que o tempo disponível para a realização do presente trabalho levou a que não fosse discutir com mais detalhe as propostas apresentadas. No mesmo sentido, como proposta de trabalho futuro sugere-se o projeto e dimensionamento detalhado das soluções propostas, bem como a validação adicional das propostas operacionais e de implementação de novos procedimentos para o recebimento e consumo de papel.

Referências

Ahmadi Tootkaleh, E., Afshar-Nadjafi, B., & Seifbarghy, M. (2024). Vendor Managed Inventory Policy for Perishable Products Under a Combination of Fifo-lifo Stock Control. *Latin American Applied Research - An International Journal*, *54*(1), 133–141. https://doi.org/10.52292/j.laar.2024.1157

Alamri, A. A., & Syntetos, A. A. (2018). Beyond LIFO and FIFO: Exploring an Allocation-In-Fraction-Out (AIFO) policy in a two-warehouse inventory model. *International Journal of Production Economics*, *206*, 33–45. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.025

Bertolotti, F., Macrì, D. M., & Vignoli, M. (2019). Strategic alignment matrix. *Journal of Accounting & Organizational Change*, *15*(4), 557–579. https://doi.org/10.1108/JAOC-12-2017-0122

Chołodowicz, E., & Orłowski, P. (2021). Development of new hybrid discrete-time perishable inventory model based on Weibull distribution with time-varying demand using system dynamics approach. *Computers & Industrial Engineering*, *154*, 107151. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107151

Coza, H. (2024). Architectural Approaches in the Production Process of Logistics Spaces. In *Theories and Practices for Sustainable Urban Logistics* (pp. 215–233). IGI Global Publishing. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1447-0.ch011

Kurt, B., Şirin, G., Karakurt, M., İspay, S. Z., Ergin, S. G., & Kandiller, L. (2024). *A Warehouse Management Decision Support System for a Spare Parts Company* (pp. 675–687). https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_52

Mogbojur, A. O., Olanrewaju, O. A., & Ogunleye, T. O. (2022). Evaluation of inventory management practice in food processing industries in Lagos: Analytical hierarchy process approach. *Nigerian Journal of Technology*, *41*(2), 236–246. https://doi.org/10.4314/njt.v41i2.5

Murmu, V., Kumar, D., Sarkar, B., Mor, R. S., & Jha, A. K. (2023). Sustainable inventory management based on environmental policies for the perishable products under first or last in and first out policy. *Journal of Industrial and Management Optimization*, *19*(7), 4764–4803. https://doi.org/10.3934/jimo.2022149

Santos, I. M. dos, Mota, C. M. de M., & Alencar, L. H. (2021). The strategic alignment between supply chain process management maturity model and competitive strategy. *Business Process Management Journal*, *27*(3), 742–778. https://doi.org/10.1108/BPMJ-02-2020-0055

Sembiring, A. C., Tampubolon, J., Sitanggang, D., Turnip, M., & Subash. (2019). Improvement of Inventory System Using First In First Out (FIFO) Method. *Journal of Physics: Conference Series*, *1361*(1), 012070. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012070

Shekhawat, S., Alessa, N., Rathore, H., & Sharma, K. (2022). A Green Approach—Cost Optimization for a Manufacturing Supply Chain with MFIFO Warehouse Dispatching Policy and Inspection Policy. *Sustainability*, *14*(21), 14664. https://doi.org/10.3390/su142114664

Tjia, F. A. (2023). Comparison of Efficiency between FIFO AND LIFO Methods for Food and Beverage Business Sector. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4339179

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
Engenharia e Gestão Industrial
Rua Pedro Nunes – Quinta da Nora
3030-199 Coimbra, Portugal
Coordenadas: Latitude 40°11'33.6"N | Longitude 8°24'41.8"W
Telefone: +351 239 790 200
E-mail: enegi2024@isec.pt
Internet: https://enegi2024.isec.pt

Instituto Superior de Engenharia
Politécnico de Coimbra