



AUMENTO DO OUTPUT DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CILINDROS DE CORTIÇA COM BORRACHA

TIAGO ANDRÉ SILVA COSTA

julho de 2023

AUMENTO DO OUTPUT DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CILINDROS DE CORTIÇA COM BORRACHA

Tiago André da Silva Costa

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

AUMENTO DO OUTPUT DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CILINDROS DE CORTIÇA COM BORRACHA

Tiago André da Silva Costa

1181171

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Especialista Eduardo José Rego Gil da Costa

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar este momento para expressar a minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a conclusão desta jornada académica.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à empresa X, pela oportunidade e por me permitirem ter uma experiência de estágio enriquecedora, tanto a nível pessoal como profissional.

Ao Engenheiro Rui Silva, orientador local na empresa, por toda a ajuda e orientação prestada ao longo de todo o projeto e pela disponibilidade e abertura na receção e discussão de todas as ideias que foram apresentadas, tendo sido um dos maiores suportes na realização deste estágio

À Engenheira Marta Pacheco, por também ter sido uma parte fundamental na realização deste projeto, e que também contribui para a minha evolução no meio empresarial.

A todos os operadores da linha de produção onde se focou a realização do projeto e a toda a equipa de supervisão, que sempre se mostraram recetivos às mudanças que foram aplicadas e partilharam a sua experiência comigo. Sem o seu contributo não seria possível realizar este trabalho.

Ao Engenheiro Eduardo Gil da Costa, orientador do ISEP, que foi sempre um apoio na realização desta dissertação, mostrando-se cem por cento disponível para esclarecer qualquer dúvida e ajudar em todas as dificuldades encontradas.

Aos meus pais, por todo o apoio que me deram e por acreditarem sempre em mim. Por todos os sacrifícios que fizeram para me poderem dar tudo e mais alguma coisa para que nunca me faltasse nada.

À minha namorada, Inês. Obrigado por me aturares nos maus momentos e nunca me deixares desistir. Obrigado por me conseguires abstrair dos problemas e tornar tudo mais fácil.

Grato por fazerem parte da minha vida!

página propositadamente em branco

RESUMO

A competitividade existente na indústria implica que as empresas tenham de se reinventar. As vantagens competitivas são instáveis e, por isso, é necessário que as empresas se esforcem diariamente para melhorar, de modo a serem mais eficientes e produtivas.

Este relatório apresenta um projeto desenvolvido numa empresa responsável pelo fabrico e transformação de compósitos com cortiça, numa área responsável pela aglomeração de cilindros de cortiça com borracha. A crescente procura por este tipo de produtos resultou na necessidade de aumentar significativamente o *output* da produção.

A metodologia utilizada foi o PDCA, centrando a primeira fase na análise do processo produtivo e registo dos principais modos de falha e dificuldades, através da observação da produção e de entrevistas informais com os operadores. Foram utilizadas técnicas *Lean* para a organização e priorização dos problemas registados e também para o desenvolvimento das ações melhoria. Os maiores problemas estavam relacionados com a grande quantidade de intervenções de manutenção corretiva, que reduziam o tempo útil de produção, e com práticas e parâmetros de produção pouco eficientes.

Tendo em consideração os problemas identificados, foram desenvolvidas ações de melhoria, como a criação de folhas de controlo operacional, a alteração de comportamentos e de parâmetros do processo, a alteração de certos equipamentos e a implementação de planos de manutenção autónoma.

Com o desenvolvimento das melhorias e tendo em conta o objetivo principal do projeto de aumento do *output* da produção da linha, foi possível aumentar o *output* de um tipo de cilindros, não sendo o mesmo verificado para o outro, devido às mudanças da equipa durante a realização do projeto.

PALAVRAS-CHAVE

Lean; *Output* da produção; Ações de melhoria; Modos de falha.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Increase of the output of a cork with rubber cylinder production line

The competitiveness within the industry implies that companies must reinvent themselves. Competitive advantages are unstable, and therefore, companies need to strive daily to improve in order to be more efficient and productive.

This report presents a project developed in a company responsible for the manufacture and processing of cork composites, in an area responsible for the agglomeration of cork cylinders with rubber. The growing demand for this type of product resulted in the need to significantly increase the production output.

The methodology used was PDCA, focusing the first phase on analyzing the production process and recording the main failure modes and difficulties, through observation of production and informal interviews with operators. Lean techniques were used for organizing and prioritizing the recorded problems and also for the development of improvement actions. The major problems were related to the large number of corrective maintenance activities, which reduced the useful production time, and inefficient production practices and parameters.

Taking into consideration the identified problems, improvement actions were developed, such as the creation of operational control sheets, changing behavior and process parameters, changing certain equipment, and implementing autonomous maintenance plans.

With the development of improvements and considering the main objective of the project to increase the production output of the line, it was possible to increase the output of one type of cylinders, although the same results were not achieved for the other type due to team changes during the project's implementation.

KEYWORDS

Lean; Production output; Improvement actions; Failure modes.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do projeto.....	1
1.2. Objetivos e metodologia do projeto	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Filosofia <i>Lean</i>	5
2.1.1. Contextualização.....	5
2.1.2. Princípios <i>Lean</i>	7
2.1.3. <i>Muda, Mura, Muri</i>	8
2.1.4. <i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>	10
2.1.5. Melhoria contínua - <i>Kaizen</i>	12
2.2. Ferramentas <i>Lean</i>	14
2.2.1. 5S.....	15
2.2.2. <i>Single Minute Exchange of Die (SMED)</i>	17
2.2.3. Diagrama Causa-Efeito.....	19
2.2.4. <i>A3 Report</i>	20
2.2.5. Matriz GUT	22
2.3. <i>Key Performance Indicators (KPI)</i>	23
3. Descrição e análise do Processo Produtivo.....	26
3.1. Funcionamento da Linha de Produção.....	26
3.2. Processo produtivo e objetivos	27
3.2.1. Cilindros calandrados	27
3.2.2. Cilindros <i>ply ups</i>	34
3.2.3. Situação inicial e objetivos.....	40
4. Desenvolvimento do Projeto	43
4.1. Ações de melhoria.....	45
4.1.1. Aglomeração de produtos químicos nos cacifos	45
4.1.2. Problemas no transporte de granulado	46
4.1.3. Contaminação do granulado com água	48
4.1.4. Queda de óleo no <i>Gumix</i>	48
4.1.5. Desgaste das facas do <i>Gumix</i>	49
4.1.6. Dificuldade no transporte de massa do <i>Gumix</i> para os misturadores abertos	50
4.1.7. Problemas na operação da prensa dos calandrados	52
4.1.8. Planos de manutenção autónoma	53

4.1.9. Criação de folhas de controlo operacional	55
4.1.10. Alteração da espessura do misturador aberto dos <i>ply ups</i>	56
4.2. Apresentação de resultados.....	56
5. CONCLUSÃO	59
5.1. Conclusões finais	59
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	59
Referências Bibliográficas	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquematização do Ciclo PDCA	2
Figura 2 Explicação das fases do Ciclo PDCA.....	3
Figura 3 Casa do TPS[21]	6
Figura 4 Princípios <i>Lean</i>	7
Figura 5 Exemplificação da interligação dos desperdícios [28].....	9
Figura 6 Descrição dos sete tipos de desperdícios.....	9
Figura 7 Esquematização dos seis desperdícios do TPM	11
Figura 8 Tradução do termo <i>Kaizen</i> [34].....	13
Figura 9 Mecanismos e atividades contidos no <i>Kaizen</i> [38]	13
Figura 10 Princípios do <i>Kaizen</i>	14
Figura 11 Esquematização do 5S [23]	16
Figura 12 Exemplo de aplicação do SMED [23].....	18
Figura 13 Exemplo de um Diagrama de Causa Efeito [50]	19
Figura 14 Exemplo de um A3 <i>Report</i> [52]	21
Figura 15 Explicação dos termos da matriz de GUT.....	22
Figura 16 Resumo estruturado dos indicadores de performance [62]	25
Figura 17 Esquematização do funcionamento de um dia de produção.....	26
Figura 18 Exemplo de cilindros calandrados	27
Figura 19 Ciclones	28
Figura 20 Mini silos.....	28
Figura 21 Cacifos de armazenamento de químicos e sistema de pesagem.....	28
Figura 22 Exemplo de um pig	29
Figura 23 Banbury	29
Figura 24 <i>Gumix</i> , com a banda a ser cortada pelas facas (zona inferior) e o <i>stock blender</i> (zona superior).....	30
Figura 25 Tapetes de transporte da banda	30
Figura 26 Passagem da massa do misturador aberto (lado esquerdo) para a calandra (lado direito)	31
Figura 27 Passagem da banda desde a calandra (lado esquerdo) para a guilhotina (lado direito) .	31
Figura 28 Saída da banda da guilhotina para o processo de enrolamento.....	32
Figura 29 Colocação do cilindro na prensa com o manipulador	32
Figura 30 Colocação dos moldes nos carris.....	33
Figura 31 Colocação dos moldes na estufa	33
Figura 32 Saída do núcleo do cilindro	34
Figura 33 Exemplos de cilindros <i>ply ups</i>	35
Figura 34 Admissão da banda no misturador aberto.....	36
Figura 35 Transporte da banda até à guilhotina	36
Figura 36 Empilhamento das folhas	36
Figura 37 Prensagem e corte das folhas na prensa e formação da roda	37
Figura 38 Empilhamento de rodas no molde	38
Figura 39 Manipulação das tampas dos moldes	38
Figura 40 Prensagem do cilindro na prensa	38

Figura 41 Moldes alinhados nos carris.....	39
Figura 42 Desmoldagem do cilindro	40
Figura 43 Relatório semanal em Power BI	45
Figura 44 Avisos colocados para limitar a colocação de químicos nos cacifos	46
Figura 45 OPL de definição das velocidades de granulado	47
Figura 46 Novo mecanismo de suporte das facas do <i>Gumix</i>	49
Figura 47 Zona de bloqueio do transporte de massa.....	50
Figura 48 Constrangimento causado pela SAFA no reposicionamento dos tapetes	51
Figura 49 Resíduos de massa acumulados em volta das tampas e das cavilhas dos moldes	52
Figura 50 Sistema de remoção de cavilhas	53
Figura 51 Exemplo de um plano de manutenção autónoma.....	54
Figura 52 Registo da manutenção autónoma em Power Apps.....	55
Figura 53 Média da produção semanal nos calandrados e <i>ply ups</i>	57
Figura 54 Média de tempo de paragem semanal nos calandrados e nos <i>ply ups</i>	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Fatores determinantes e respetivos indicadores para uma produção <i>Lean</i>	7
Tabela 2 Pilares do TPM	11
Tabela 3 Objetivos e procedimentos do 5S.....	15
Tabela 4 Benefícios da aplicação do 5S.....	16
Tabela 5 Fases de aplicação do SMED.....	18
Tabela 6 Intervenientes das categorias do 5M	20
Tabela 7 Explicação das secções do <i>A3 Report</i>	21
Tabela 8 Escala para os parâmetros da matriz GUT.....	23
Tabela 9 Exemplo de uma matriz GUT	23
Tabela 10 Explicação dos tipos de indicadores	24
Tabela 11 Explicação dos tipos de indicadores de qualidade	25
Tabela 12 Horário, tipo de produto e objetivo de produção dos três turnos da linha	26
Tabela 13 Dados relativos ao cálculo da média de produção antes da realização do projeto	40
Tabela 14 Explicação dos dados analisados	43
Tabela 15 Explicação dos dados do Power BI	44
Tabela 16 Valores definidos para as velocidades dos tapetes.....	51
Tabela 17 Resultados da alteração da espessura do misturador aberto.....	56

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
TPS	Toyota Production System
JIT	Just-In-Time
TPM	Total Productive Maintenance
SMED	Single Minute Exchange of Die
GUT	Gravidade, Urgência, Tendência

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

O projeto descrito na presente dissertação foi realizado no âmbito da Unidade Curricular Dissertação / Projeto / Estágio, inserida no Mestrado em Engenharia Mecânica – Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Neste primeiro capítulo é enquadrado o tema do projeto. Para além disso, são expostos os objetivos e a metodologia seguida, bem como a estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento do projeto

Nos últimos anos, o interesse político e organizacional pela melhoria da sustentabilidade das atividades industriais tem crescido de forma regular, bem como a discussão acerca dos sistemas de medição de performance deste aspeto. Vários autores referiram recentemente que a sustentabilidade industrial deve estar centrada em todas as atividades relacionadas com o nível das instalações industriais e a totalidade das operações (ou seja, não apenas a linha de produção), exigindo ações que envolvam os materiais, os produtos, os processos, as plantas e os sistemas de produção, integrando-as com as atividades normais da empresa [1].

Esta procura pela sustentabilidade levou as organizações a optarem pela utilização de materiais que cumpram este requisito, dos quais se destaca a cortiça e os seus aglomerados. A cortiça é um material natural, leve, elástico, flexível, impermeável a gases e líquidos, bem como um bom isolante elétrico, térmico, sonoro e vibratório [2]. A incorporação de compósitos na cortiça cria um portfólio de materiais, capaz de satisfazer as mais variadas necessidades dos consumidores.

Devido às excelentes propriedades da cortiça, por ser um material sustentável e pela grande quantidade de materiais compósitos que podem ser fabricados para responder às necessidades dos clientes, a procura destes produtos tem vindo a aumentar, o que levou a empresa onde foi realizado o projeto a focar-se nos problemas que residem na linha de produção de cilindros de cortiça com borracha, e não permitem aumentar o *output*. Este projeto surge, precisamente, para melhorar o *output* desta linha de produção, de forma a ser possível satisfazer as necessidades do mercado.

1.2. Objetivos e metodologia do projeto

A proposta apresentada pela empresa consiste na melhoria de uma linha de produção, com o principal objetivo de criar soluções que permitam aumentar o *output* para os valores objetivo da área industrial, através da análise de tempos de *set-up*, do sequenciamento da produção, do mapeamento de tarefas e dos principais motivos de avaria na linha de produção.

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), seguindo as seguintes etapas:

- Conhecer a realidade e o funcionamento da organização;
- Conhecer a realidade e o funcionamento da área industrial;
- Acompanhamento diário da linha de produção;
- Análise de valores de produção;

- Análise de modos de falha (*Plan*);
- Proposta de soluções de melhoria;
- Implementação de soluções de melhoria (*Do*);
- Acompanhamento e monitorização (*Check*);
- Quantificação e análise de resultados (*Act*).

O ciclo PDCA é uma ferramenta Lean desenvolvida em 1960, numa altura em que os produtos até então exclusivos, já não eram únicos e começaram a enfrentar uma forte concorrência num mercado cada vez mais orientado para a gestão da qualidade [7]. De acordo com vários autores, o criador desta metodologia foi um estatístico americano chamado Walter A. Shewhart. Contudo, William Edward Deming foi quem, na década de 1950, desenvolveu este método até ser um dos mais conhecidos e aplicados a nível global [8].

O ciclo PDCA, representado na Figura 1, é uma ferramenta que visa a melhoria de processos, focando-se na aprendizagem e conhecimento contínuos, que são a chave do sucesso de qualquer iniciativa de melhoria da qualidade [9]. De acordo com este método, os projetos de melhoria serão eficazes se começarem com um bom plano (*Plan*), se as atividades necessárias para alcançar o objetivo forem corretamente implementadas (*Do*), se os resultados forem verificados regularmente (*Check*) e se forem tomadas ações para melhorar a situação atual (*Act*) [10].

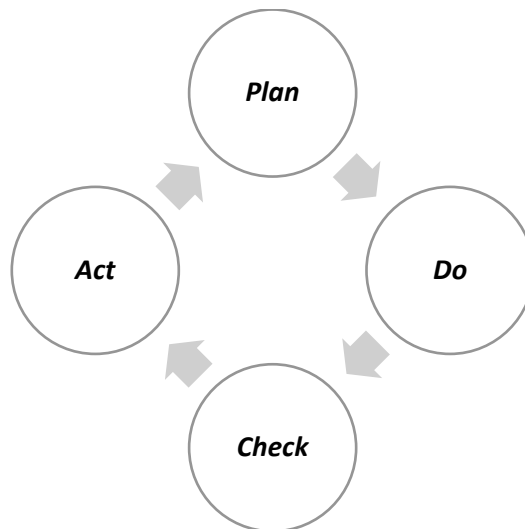


Figura 1 Esquematização do Ciclo PDCA

A sigla que dá nome a esta ferramenta advém das fases que estão presentes na sua aplicação e que foram descritas anteriormente. Na Figura 2, estas fases estão explicadas com maior detalhe [7].

Plan	Identificar oportunidades de melhoria, analisar o estado atual do processo, determinar possíveis causas do problema e possíveis ações de correção.
Do	Implementar um plano de ações, selecionar e documentar dados e anotar eventos irregulares e conhecimentos adquiridos.
Check	Analisar os resultados das ações tomadas, comparar a nova situação com a anterior e verificar se existiram melhorias e quais os objetivos que foram alcançados.
Act	Desenvolver métodos de normalização das melhorias e, se necessário, repetir os processos e reavaliar as intervenções.

Figura 2 Explicação das fases do Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é um conceito simples de compreender, sendo fundamental a sua aplicação nos processos de melhoria contínua incorporados na cultura de qualquer organização. O aspeto mais importante desta metodologia reside na fase *act* após a conclusão de um projeto, ou seja, quando o ciclo começa de novo para a melhoria futura. Estes resultados fornecem informações úteis para os profissionais que procuram formas de melhorar o seu desempenho organizacional, sugerindo um ponto de partida para a implementação de métodos *lean* e/ou de melhoria da qualidade. Além disso, as ações de melhoria implementadas sem sucesso, ou consideradas ineficazes, sugerem áreas em que a formação dos colaboradores e/ou as ferramentas utilizadas devem ser melhoradas [11].

1.3. Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho está assente, essencialmente, em quatro partes. Em primeiro lugar, esta introdução, onde foi apresentado o tema da dissertação, os objetivos do projeto e a metodologia seguida. De seguida, encontra-se a revisão bibliográfica, onde se pretende enquadrar os temas relacionados com esta dissertação. O terceiro capítulo aborda o desenvolvimento do trabalho prático propriamente dito, referindo as soluções encontradas e as alterações efetuadas. A apresentação de resultados e a discussão dos mesmos são apresentados no quarto capítulo. Por último, são apresentadas as conclusões e projeções para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão de literatura dos conceitos e metodologias que serviram de suporte para a realização deste projeto.

2.1. Filosofia *Lean*

A filosofia *Lean* é uma área de investigação que começou a ter relevância no início da década de 1990, com Krafcik a referir pela primeira vez o termo na sua tese de mestrado, publicada pelo MIT em 1988 [12]. Contudo, foi em 1990, com a publicação do livro “*The Machine that Changed the World*”, de James P. Womack, que o termo “filosofia *Lean*” se tornou popular para designar o *Toyota Production System* (TPS) como um novo paradigma da produção, contrastando com o Fordismo [13].

Esta metodologia tem por base o uso eficiente dos recursos existentes, eliminando as atividades sem valor acrescentado, através da utilização de um conjunto de práticas que trabalham em conjunto para criar um sistema produtivo otimizado, capaz de produzir produtos de alta qualidade ao ritmo da procura dos clientes [14]. A metodologia *Lean* está frequentemente associada à redução de desperdícios, com o objetivo de melhorar a qualidade dos serviços e/ou produtos [15].

2.1.1. Contextualização

Após a Primeira Guerra Mundial, Henry Ford e a General Motors (GM), de Alfred Sloan, moveram o mundo de séculos de produção artesanal, liderada pelas empresas europeias, para a era da produção em massa. O resultado foi o domínio da economia mundial por parte dos Estados Unidos [16]. Este sistema prevaleceu na maior parte das grandes empresas até depois da Segunda Guerra Mundial, quando o Japão se encontrava em grandes dificuldades de recuperação e as organizações perceberam que não conseguiriam suportar investimentos enormes para se reconstruírem [17].

Em 1950, o engenheiro japonês Eiji Toyoda, da *Toyota Motor Company*, passou três meses a estudar o complexo da Ford, em Detroit, e percebeu que havia espaço para melhorar o sistema de produção lá implementado. Mais tarde, já em casa, em conjunto com Taiichi Ohno, génio da produção, concluiu que não seria viável aplicar a produção em massa no Japão [16].

Foi a partir da necessidade de competir com os mercados internacionais, mesmo com poucos recursos, que nasceu o que a Toyota chamou de *Toyota Production System* (TPS), modelo pioneiro daquilo que se designa atualmente por filosofia *Lean* [18].

O TPS tem como grandes pilares o *Just-In-Time* (JIT) e o *jidoka*, como pode ser visualizado na Figura 3, que representa a casa do *Toyota Production System* [19]. Esta representação foi escolhida com o intuito de dar a entender que esta filosofia é um sistema estrutural, em que todas as partes são importantes para a sua estabilidade. O objetivo não é fortalecer apenas parte do sistema, mas sim o sistema como um todo, procurando melhorar a estabilidade dos sistemas de fabrico e a vantagem competitiva da empresa através da satisfação dos clientes [20].

Os alicerces da casa do TPS são a estabilidade e a normalização, que permitem que os pilares sejam construídos e que os resultados obtidos sejam expectáveis e estáveis, respetivamente. Os pilares

são, como dito anteriormente, o JIT e o *jidoka*, em que o primeiro possibilita aos sistemas fluírem com o mínimo de inventário, e o segundo, parar a produção quando uma anomalia é encontrada. O interior da construção são as pessoas pertencentes à organização, que fazem com que todo o sistema funcione, através do trabalho de equipa e da vontade de melhorar. Por fim, o telhado da casa representa todos os objetivos da filosofia *Lean*, os *lead-times* reduzidos, o menor custo de produção e a melhor qualidade dos produtos [21]

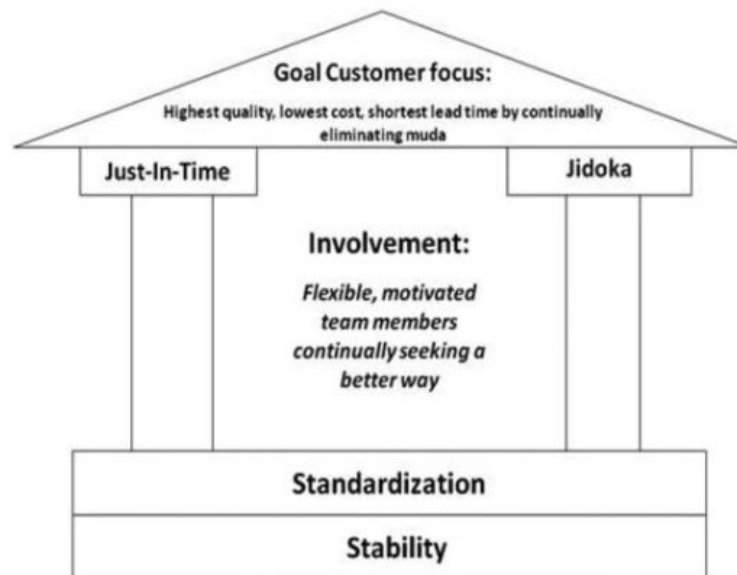


Figura 3 Casa do TPS[21]

Tendo em conta esta representação, é possível concluir que um sistema *Lean* procura a minimização dos inventários e dos tempos de espera, o equilíbrio das linhas produtivas e a redução dos tempos de produção, sendo caracterizado pela adaptabilidade, pela elevada qualidade e pela melhoria contínua. Com o objetivo de auxiliar as organizações a atingirem estes objetivos, Christer Karlsson e Pär Åhlström propuseram um modelo onde são representados os fatores determinantes para uma produção *Lean*, assim como exemplos de indicadores que possibilitam a mensurabilidade dos dados [22], como representado na Tabela 1.

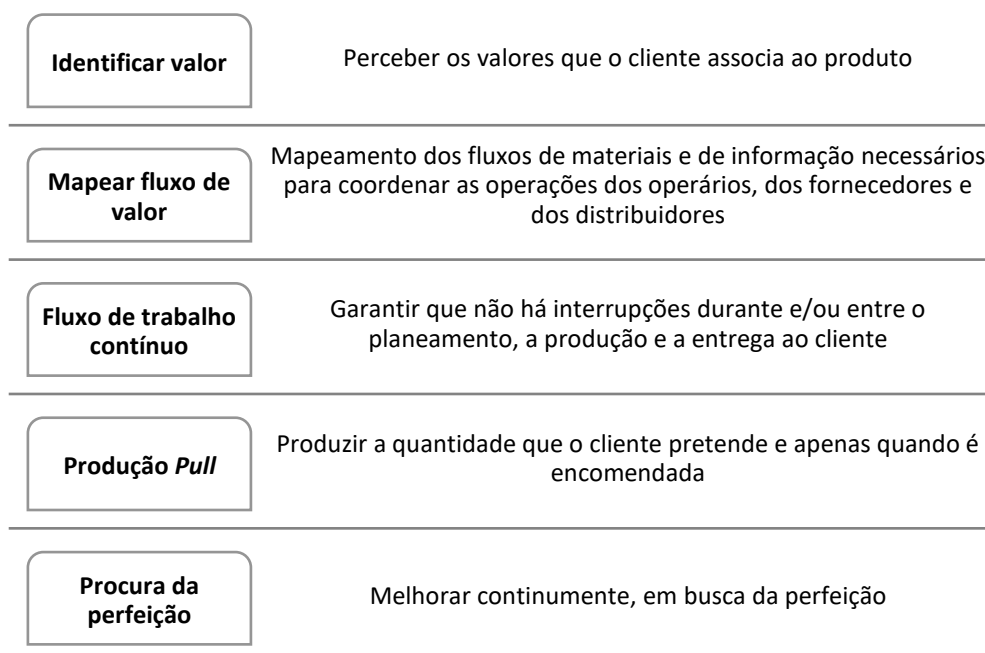
Contudo, a aplicação da filosofia *Lean* tem os seus desafios. Um deles, identificado por Oladipupo Olaitan, Anna Rotondo, John Geraghty e Paul Young, é a flexibilidade da produção. Embora seja algo bom para a eficiência do sistema, requer esforços de coordenação adicionais para obter todos os benefícios, podendo criar complicações, como processos de decisão complexos, dificuldade dos operadores em manterem as competências, bem como possíveis problemas a nível da qualidade [23]. Outro grande desafio é a resistência à mudança por parte dos gestores e dos operadores, ou mesmo a falta de compreensão acerca das ferramentas que se pretendem aplicar. Muitas empresas falham na primeira fase de mudança porque subestimam o quão difícil pode ser colocar os colaboradores fora da sua zona de conforto. É necessário compreender a natureza e os mecanismos da organização, a fim de tornar a mudança possível [24].

Tabela 1 Fatores determinantes e respectivos indicadores para uma produção *Lean*

Fator	Indicador
Eliminação de desperdícios	Tempo de <i>set up</i> ; distâncias percorridas pelos materiais
Melhoria contínua	Número de sugestões dos funcionários; percentagem de implementação das sugestões
Controlo de qualidade	Número de defeitos por tempo de produção; número de processos de controlo
JIT	Tempo de produção entre <i>set ups</i>
<i>Pull System</i>	Número de ordens de fabrico planeadas em função do número de encomendas
Trabalho de equipa	Formação de operadores; número de tarefas realizadas em equipa
Descentralização de responsabilidades	Percentagem de team leaders; número de graus hierárquicos
Interligação com os fornecedores	Número de auditorias por número de fornecedores
Sistemas de informação	Número de áreas de informação; frequência da divulgação da informação

2.1.2. Princípios *Lean*

A filosofia *Lean* é baseada em princípios que garantem a sua correta aplicação. Estes princípios examinam os processos empresariais e identificam custos desnecessários e processos ineficientes, sendo que o conhecimento destes princípios condiciona o bom funcionamento da metodologia. De acordo com o livro “*Lean Manufacturing*”, de James P. Womack e Dan Jones, estes princípios são cinco, estando representados no diagrama da Figura 4 [25]. A transformação *Lean* tenta integrar estes valores nas práticas da organização e, eventualmente, na sua cultura [26].

Figura 4 Princípios *Lean*

O primeiro princípio, a identificação de valor, tem funcionado perfeitamente numa ampla seleção de indústrias e ajudou muitas empresas a mudar a sua mentalidade de uma perspectiva de eficiência de recursos para uma perspectiva de eficiência de fluxo orientada para o cliente. A aplicação deste princípio requer, em primeiro lugar, a identificação dos clientes e, posteriormente, a especificação do seu valor. Define-se como cliente alguém que compra um bem ou serviço a uma empresa. Embora seja fácil cumprir esta etapa em muitos contextos, existem alguns em que a identificação do cliente é complicada, como é o exemplo do setor do ensino ou da saúde [27].

O segundo princípio, mapeamento do fluxo de valor, é bastante complicado de analisar em ambientes industriais dinâmicos, onde exista uma variedade alta e um baixo volume de produção. Por outro lado, em situações onde se verifica o contrário, esta etapa é mais fácil de realizar. No caso de trabalhos por projeto, se cada um tiver um fluxo de valor único, um mapa de processos de alto nível pode ser a solução [27].

O terceiro princípio, fluxo de trabalho contínuo, é uma parte integrante tanto da produção em massa como da produção *Lean*. A criação de fluxo é mais fácil em operações de montagem de automóveis e em indústrias do género, do que em processos que são menos automatizados e necessitam de um maior conhecimento e tecnicidade. Esta etapa foca-se também na redução de desperdícios e ineficiências [27].

O quarto princípio, produção *pull*, tem como pressuposto deixar os clientes “puxarem” a produção, ou seja, são eles que decidem quando é que um determinado produto é produzido com base nas suas necessidades. No entanto, tendo como exemplo os serviços públicos, o conceito de “puxar” a produção perde sentido, uma vez que está a ser considerado o estado do processo e não a prontidão deste. Assim, é possível concluir que este princípio é uma combinação entre o estado do sistema e do mecanismo de controlo de fluxo [27].

Por fim, o quinto princípio, a procura pela perfeição, é o mais versátil de todos, capaz de uma cultura que é essencial para o sucesso de uma transformação *lean* em qualquer organização, e o que diferencia esta metodologia de outras. A capacidade de todos os colaboradores refletirem sobre as formas atuais de trabalho e de como melhorá-las são os únicos meios contínuos pelos quais os resultados que se esperam de uma implementação bem-sucedida do *lean* possam ser conseguidos. A maior dificuldade é, precisamente, conseguir mudar a mentalidade das pessoas envolvidas, para que sejam capazes de ter uma atitude crítica e de evolução em relação ao trabalho que desempenham [27].

2.1.3. Muda, Mura, Muri

O TPS reconhece três tipos principais de resíduos, que se designam por *muda*, *mura* e *muri*, três palavras japonesas que se traduzem em inutilidade, falta de regularidade e sobrecarga, respetivamente, e, juntos, definem aquilo que os japoneses designam por desperdício [28]. A correta identificação e avaliação destes tipos de desperdícios, bem como a sua origem, tornam a aplicação da filosofia *Lean* mais fácil [29].

Os três tipos de resíduos estão ligados, sendo que esta ligação pode ser descrita como uma cadeia de causas e efeitos, onde *mura* cria *muri* e duas delas juntas podem criar *muda*. Em termos simples, as variações do volume de produção obrigam a empresa a alternar a sobrecarga e a subutilizar os seus recursos, criando a *muri*. Isto, por sua vez, leva a paragens, erros e tempo de espera, causando

outros tipos de *muda*. Portanto, *mura* e *muri* são as causas principais de *muda*, criando mais atividades sem valor acrescentado e eliminando os esforços anteriores para eliminar resíduos [28]. A Figura 5 representa as diferentes interações entre os resíduos.

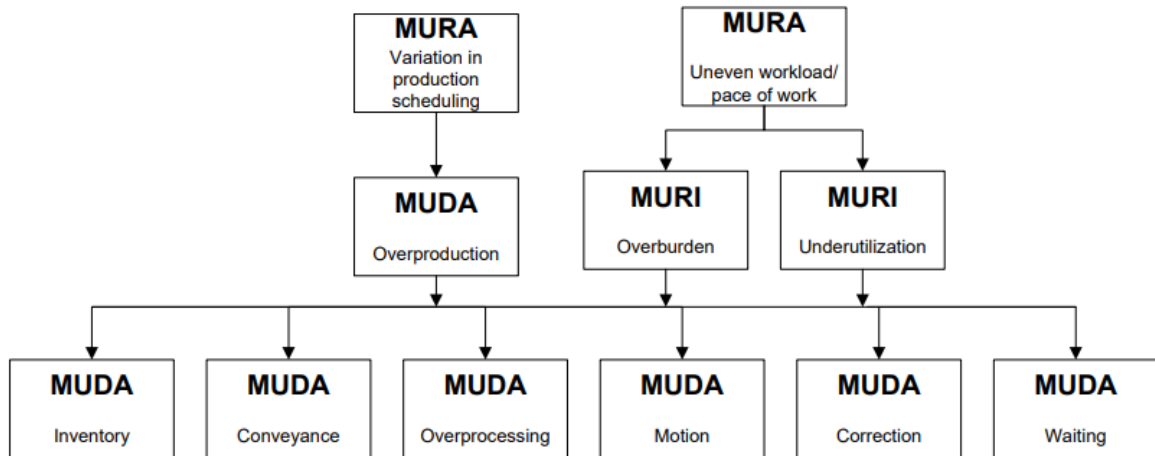


Figura 5 Exemplificação da interligação dos desperdícios [28]

Muda

Este tipo de desperdício é caracterizado pelo consumo de tempo, dinheiro e recursos, sem adicionar valor para o cliente. O objetivo da identificação de *muda* é reconhecer o que realmente é necessário para o processo e o que pode ser reduzido ou eliminado [28].

Segundo Taiichi Ohno, existem sete tipos de *muda*, representados no diagrama da Figura 6.

Já para James P. Wamack e Dan Jones, existem oito tipos de desperdícios, sendo o oitavo a subutilização dos funcionários. Com isto, os autores consideram que, quando a criatividade e competências dos colaboradores não são utilizadas para melhorar os processos e práticas da organização, são desperdiçados conhecimento e experiência da mão de obra disponível [14].

Produção excessiva	Produzir mais do que é necessário ou antes de ser necessário
Espera	Tempo de espera entre etapas do processo produtivo
Transporte	Movimentação de produtos e materiais desnecessária
Processamento excessivo	Esforço ou qualidade superior à requerida pelo cliente
Inventário	Excesso de produtos e materiais em processamento
Movimento	Movimento excessivo e desnecessário de pessoas
Defeitos	Esforço adicional desnecessário, causado por defeitos ou informações incorretas

Figura 6 Descrição dos sete tipos de desperdícios

Mura

Este tipo de desperdício é referente às irregularidades nos volumes de produção e pode manifestar-se de duas formas, a variação na programação da produção e as desigualdades da carga e ritmo de trabalho [28].

Uma das principais causas de *mura* é a produção por lotes. O objetivo das organizações que produzem para grandes lotes é maximizar a utilização dos recursos e minimizar o custo por unidade. Contudo, o processo torna-se inflexível, dificultando a capacidade da empresa de reagir às constantes mudanças da procura de produto por parte dos clientes [28].

Muri

Este desperdício está associado à sobrecarga dos equipamentos, instalações ou recursos humanos. Esta sobrecarga coloca tanto os colaboradores como as máquinas em stress desnecessariamente, reduzindo a sua capacidade de atuar. *Muri* também pode ser identificado como sendo o exato oposto, ou seja, a subutilização da mão de obra ou dos equipamentos, o que provoca longos períodos de inatividade [28].

Existem três causas principais para a ocorrência deste desperdício, a má organização do espaço de trabalho, a não normalização do trabalho e as grandes variações de volume produtivo [28].

A existência de *muri* é um dos motivos de avarias nos equipamentos e de absentismo no caso da mão de obra. Por conseguinte, a sobrecarga impede a organização de alcançar os objetivos do sistema JIT, impedindo as pessoas e as máquinas de operarem a 100% das suas capacidades, sendo esta uma consequência negativa para a empresa [28].

2.1.4. Total Productive Maintenance (TPM)

O TPM é um instrumento de gestão da produção que foi desenvolvido no Japão ao longo de várias décadas e emergiu como a prática *Lean* mais ponderada, oferecendo, ao mesmo tempo, uma elevada contribuição para a melhoria das organizações [30]. A correta aplicação desta ferramenta cria uma cultura dentro da organização que se esforça por eliminar perdas, melhorando a competitividade das organizações. A implementação do TPM no interior das organizações precisa do apoio da gestão de topo, porque este conceito avançado requer o empenho, disponibilidade e participação de todos os envolvidos, de modo a promover a produtividade da manutenção através da gestão da motivação ou de atividades voluntárias de pequenos grupos [24].

Esta ferramenta tem como objetivo a otimização das atividades de manutenção preditiva, preventiva e corretiva, a fim de alcançar o nível máximo de eficiência e longevidade do equipamento [31]. Para isso, foca-se na eliminação de seis principais desperdícios [32], representados no diagrama da Figura 7.

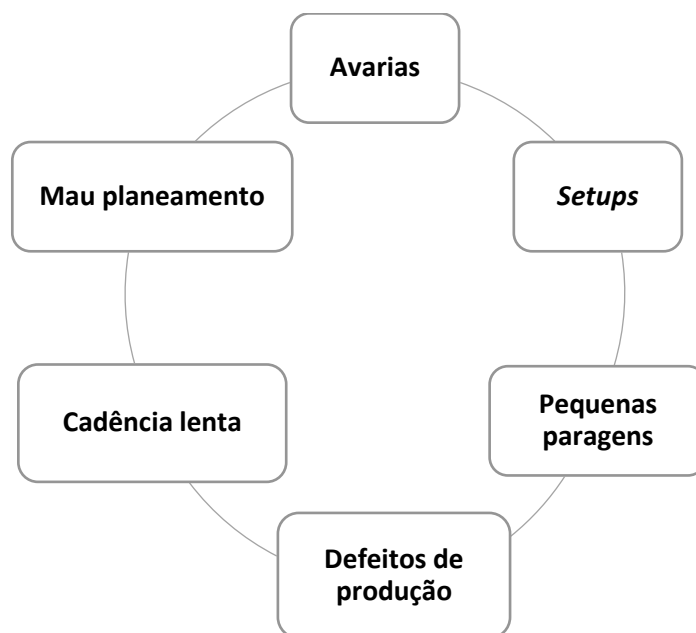


Figura 7 Esquematização dos seis desperdícios do TPM

Um dos requisitos necessários para a aplicação desta metodologia é o envolvimento de todos os colaboradores, desde os operadores à gestão de topo. Desta maneira, é possível valorizar as capacidades que cada elemento tem para oferecer. O operador de cada equipamento é um elemento fundamental na aplicação do TPM, pois estará presente em todas as oscilações de funcionamento da máquina [33].

Existem inúmeros benefícios que advém da adoção desta prática, tais como o aumento do conhecimento dos equipamentos por parte dos operadores, o fornecimento de formação através da cooperação em equipa e a promoção de auditorias e diagnósticos fáceis dos equipamentos [32].

O TPM assenta em oito pilares [32], apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Pilares do TPM

Pilar	Designação
Manutenção autónoma	A manutenção é realizada pelo operador da máquina, sem a necessidade da intervenção de técnicos especializados. O operador garante que a máquina se encontra em bom estado e é capaz de identificar problemas antes de se desenvolverem.
Manutenção preventiva	A manutenção é realizada antes de alguma avaria acontecer, com base nas taxas de falha dos equipamentos. Dá a possibilidade de realizar a manutenção fora das horas em que a máquina está a ser utilizada.
Manutenção da qualidade	Deteção de erros durante a produção e criação de medidas que previnam defeitos. Este pilar envolve uma mentalidade de zero defeitos.
Foco na melhoria	Criação de pequenas equipas, em que todos os elementos trabalham em conjunto para melhorar continuamente os equipamentos.
Gestão dos equipamentos	Requer a compreensão e conhecimentos práticos de produção, no sentido de melhorar e facilitar a conceção de novos equipamentos. Permite o aumento da performance das máquinas e diminui a dificuldade da manutenção.

Tabela 2 Pilares do TPM (Cont.)

Pilar	Designação
Formação e educação	É de extrema importância formar os operadores, equipas de manutenção e gestores, de modo a todas as falhas de conhecimento sejam eliminadas.
Ambiente seguro e saudável	Assegurar um ambiente de trabalho seguro e sustentável, eliminando potenciais riscos para a saúde e segurança. Tem como objetivo zero acidentes e zero lesões no local de trabalho.
Administração	Esta metodologia também é aplicada às funções administrativas. A melhoria das operações administrativas resulta numa melhoria da produção.

2.1.5. Melhoria contínua - *Kaizen*

A primeira implementação do *Kaizen* foi no Japão, depois da Segunda Guerra Mundial, quando o país se encontrava a tentar reconstruir organizações e a repensar muitos sistemas, sendo que este conceito começou a formar-se na década de 1950. De acordo com Masaaki Imai, o pai desta metodologia, este é o conceito mais importante da gestão japonesa [34].

O princípio *Kaizen* é baseado na antiga tradição e filosofia japonesa, na medida em que procura a harmonia através da melhoria contínua. Na sua forma contemporânea, é utilizada tanto para melhorar como para racionalizar os processos empresariais, bem como o desenvolvimento pessoal. O significado de melhoria no *Kaizen* não deve ser visto isoladamente, mas sim num contexto mais amplo, que é o real significado desta expressão emprestada da tradição taoista e budista, centrada na melhoria para toda a sociedade, estando ainda presente no Japão até hoje [34]. Atualmente, a bibliografia que aborda o tema da gestão industrial, ainda tem creditado o foco na melhoria contínua como sendo um elemento-chave no sucesso da produção no Japão [35].

O *Kaizen* é uma filosofia de gestão que defende que não deve ser feito qualquer tipo de melhoria particular em detrimento dos clientes e da comunidade envolvente. Por conseguinte, deve existir sempre uma noção do contexto mais amplo quando se fala sobre este conceito da gestão japonesa, que integra todos os componentes dentro de uma dinâmica e clarifica a importância subjacente da harmonia social [34].

A palavra japonesa *Kaizen* pode ser traduzida em “melhoria contínua” (Figura 8) e centra-se tanto nos processos como nos resultados. De acordo com Masaaki Imai, é uma metodologia que, quando aplicada corretamente, elimina trabalho exigente desnecessário, tanto mental como físico, ensina as pessoas a se adaptarem rapidamente a situações adversas e elimina desperdícios nos processos empresariais.



Figura 8 Tradução do termo *Kaizen* [34]

O grande requisito do *Kaizen* é o envolvimento de todos os colaboradores em pensar, regularmente, em pequenas ideias de melhoria. Quando pequenas melhorias são implementadas, o trabalho pode tornar-se mais fácil e agradável, sendo importante perceber que uma série de pequenos aperfeiçoamentos estratégicos pode, rapidamente, resultar num aumento significativo de eficiência do sistema [36].

A filosofia *Kaizen* tem dois grandes objetivos, desenvolver uma cultura de resolução de problemas, com foco na análise e no pensamento científico e estruturado, e o envolvimento de todas as pessoas da organização, desde os trabalhadores no chão de fábrica até à gestão de topo [37].

Esta metodologia pode ser representada como um guarda-chuva, pois alberga uma vasta gama de mecanismos e atividades na sua aplicação [38], como representado na Figura 9.

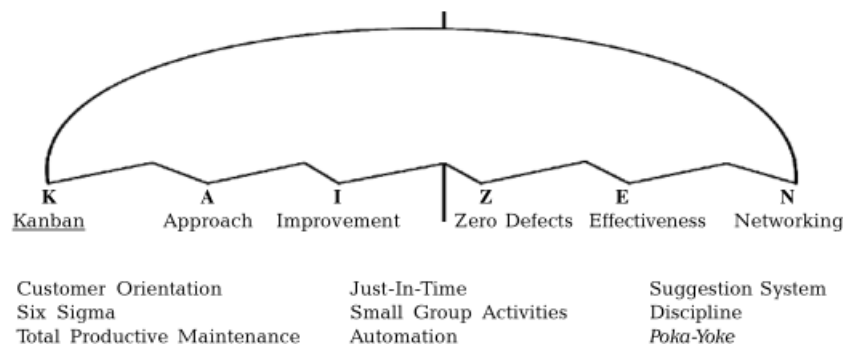
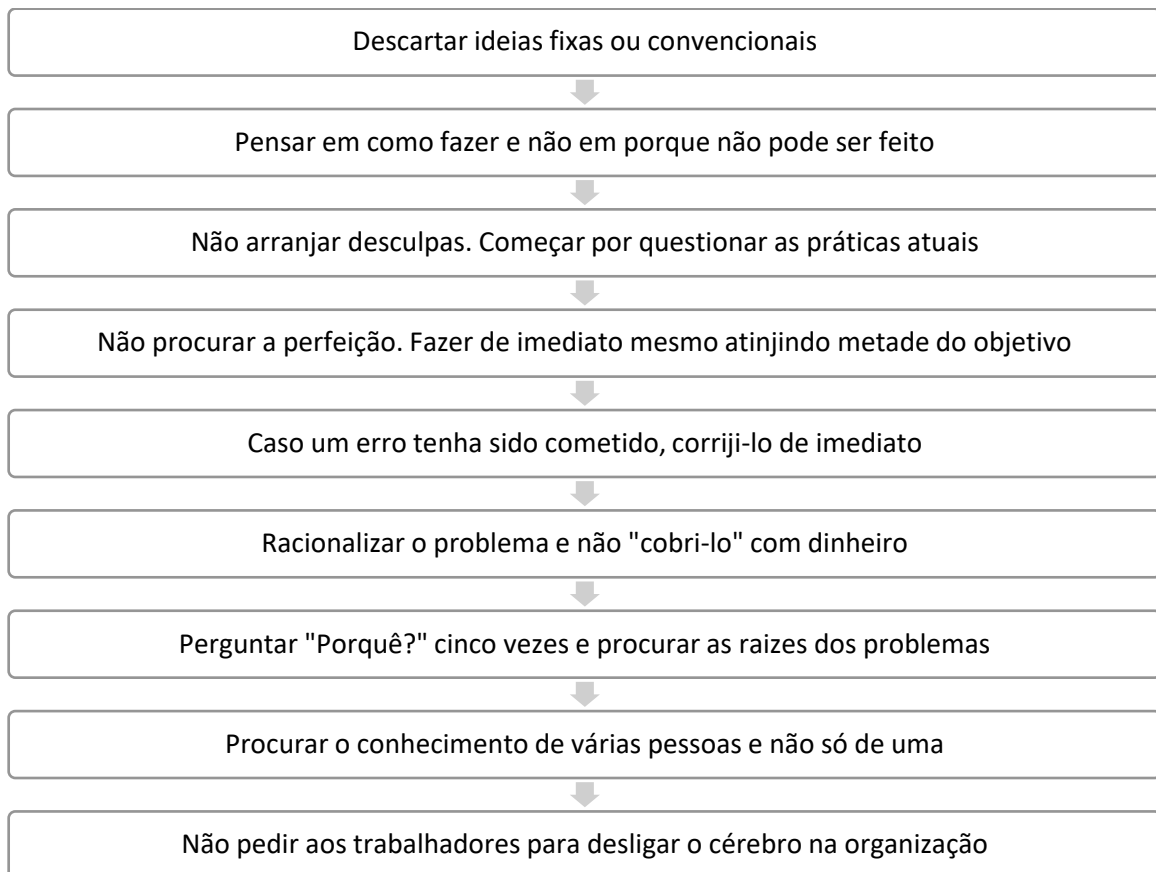


Figura 9 Mecanismos e atividades contidos no *Kaizen* [38]

Combinando os objetivos do *Kaizen* com as ferramentas apresentadas em cima, é frequente apresentar esta filosofia como um conjunto de princípios de aplicação, enumerados na Figura 10 [34].

Figura 10 Princípios do *Kaizen*

Mesmo assim, o caminho da melhoria contínua não é fácil de seguir, uma vez que requer níveis elevados de empenho, esforço e tempo por parte de todos os colaboradores. Existem evidências que sugerem que o foco da atenção da gestão empresarial ocidental está no curto prazo, o que não condiz com as perspetivas a longo prazo que a melhoria contínua estabelece, dificultando a aplicabilidade do *Kaizen*.

2.2. Ferramentas *Lean*

Ao longo do tempo, várias foram as ferramentas *Lean* desenvolvidas. A correta implementação desta filosofia depende do bom uso das ferramentas e do envolvimento da organização na sua aplicação. Num estudo conduzido por João Margaça, em 2013, envolvendo 231 empresas portuguesas certificadas pela norma ISO 9001, foi constatado que apenas 31 tinham implementado ferramentas *Lean* [39]. Noutro estudo, desta vez realizado por Luís Fonseca, Vanda Lima e Maria Silva, foi concluído que, entre as 202 empresas em estudo, 78% usavam ferramentas básicas da qualidade, como histogramas ou cartas de controlo, e apenas 39% usavam ferramentas mais avançadas [40].

Neste subcapítulo, serão abordadas as ferramentas que foram utilizadas no desenvolvimento do projeto.

2.2.1. 5S

O 5S é um método de gestão do espaço de trabalho, que surgiu no Japão como consequência da aplicação do *Kaizen*. No início, esta metodologia foi utilizada para desenvolver um sistema de gestão integrado, que acabou por se tornar no TPM [41].

A percepção do 5S está pormenorizada e enraizada na cultura japonesa, uma vez que deriva de uma abordagem que a vê como sabedoria da vida, praticada todos os dias. Por este motivo, esta ferramenta é facilmente incluída nas práticas de gestão e contribui para a maximização tanto da eficiência, como da eficácia. Quando compreendido e desenvolvido dentro do contexto, independentemente da dimensão ou tipo da organização, o 5S pode ser usado para envolver atividades de melhoria no meio de diferentes ambientes [42].

O nome desta ferramenta deriva de cinco palavras japonesas que começam pela letra “S”, sendo estas *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke*, que se traduzem, respetivamente, em triagem, organização, limpeza, normalização e disciplina [43]. O objetivo e procedimentos a seguir destes termos está indicado na Tabela 3 [44] [23].

Tabela 3 Objetivos e procedimentos do 5S

Termo	Objetivo e procedimento
<i>Seiri</i>	Manter apenas os itens necessários no local de trabalho em locais apropriados. O objetivo é eliminar tudo (itens) o que é desnecessário do local de trabalho. Estes artigos devem ser identificados com um rótulo vermelho e removidos. Os artigos que são utilizados são mantidos e deslocados para locais apropriados. A organização do espaço de trabalho permite a eliminação de ferramentas ou objetos danificados ou a remoção dos artigos desnecessários porque simplesmente já não são precisos. Algumas vantagens de ter um espaço de trabalho organizado são a contenção de stocks, uma melhor utilização do local de trabalho e uma menor possibilidade de perder ferramentas de trabalho.
<i>Seiton</i>	Armazenar todos os requisitos e artigos no local certo. Todos os empregados devem ser encorajados e motivados a colocar os artigos de trabalho no melhor local e contribuir para a sua melhoria visual. Cada item pode ser identificado com um rótulo através de uma cor para que seja rápido de identificar e encontrar. Outra estratégia pode ser armazenar objetos semelhantes no mesmo local segundo um critério, por exemplo atributos nomes, números, entre outros.
<i>Seiso</i>	O local de trabalho deve estar constantemente limpo e arrumado. A limpeza diária é necessária para um melhor ambiente de trabalho e acaba por atuar como um fator de motivação para o empregado, uma vez que este se encontra num ambiente organizado e saudável.
<i>Seiketsu</i>	Definir normas e estados de referência para o nível de limpeza no local de trabalho. A implementação de gestão visual e regras para assegurar a prática contínua dos princípios dos 5S é imperativa. Todos os empregados devem ser envolvidos no desenvolvimento de normas para conhecerem as suas responsabilidades e deveres a desempenhar na sua rotina diária.
<i>Shitsuke</i>	Disciplina significa ter a capacidade de fazer o que é esperado. No entanto, a autodisciplina é mais do que isso. Enquanto uma pessoa sendo disciplinada num dado momento pode ou não continuar a sê-lo, quando se é autodisciplinado, a disciplinada é uma garantia da continuidade destas ações como uma rotina diária.

A implementação do 5S pode também desvendar problemas que, até então, não tinham sido descobertos e poderiam passar despercebidos. Alguns dos benefícios mais importantes da aplicação desta ferramenta estão descritos na Tabela 4 [42].

Tabela 4 Benefícios da aplicação do 5S

Benefício	Explicação
Ordem (<i>seiri, seiton</i>)	Maximizar a eficiência e eficácia ao reduzir a carga de trabalho das pessoas e os erros humanos ao simplificar os processos
Limpeza (<i>seiso e seiketsu</i>)	Maximizar a eficácia, contribuindo para uma vida mais saudável, a segurança e o bem-estar, bem como o reforço da transparência
Disciplina (<i>shitsuke</i>)	Formar e educar, com o objetivo de melhorar o nível de moral, que leva a uma melhor qualidade de trabalho/vida e padrões de trabalho

A ênfase do 5S é a criação de bons hábitos que contribuam para um bom ambiente de trabalho e, na maioria dos casos, é um processo simples de implementar. No entanto, torna-se complicado manter estas práticas e comportamentos por longos períodos, sendo que o “S” mais complicado de aplicar é o quinto, pois é necessária uma combinação de vários fatores para manter a prática disciplinar, tais como compromisso da equipa de gestão, formação adequada e cultura de melhoria contínua desde o nível operacional à gestão de topo [23]. Na Figura 11 está representada uma esquematização do 5S e das suas vantagens.



Figura 11 Esquematização do 5S [23]

Vários autores começaram, recentemente, a aplicar o conceito dos 6S's, que, para além dos cinco “S” existentes nesta ferramenta, acrescenta outro, que está relacionado com a segurança. O conceito 6S foi introduzido por Hiroyuki Hirano, como um método para reduzir os resíduos, melhorar a segurança e otimizar a produtividade. A implementação do 5S sem considerar os aspetos de segurança torna-se ineficaz uma vez que a segurança é, ou deveria ser, a prioridade

máxima em qualquer ambiente de trabalho. A implementação da segurança em 6S tem o objetivo de identificar os perigos/riscos atuais, garantir equipamento de trabalho seguro, evitar lesões, a existência de extintores de incêndio e vias de fuga [23].

2.2.2. Single Minute Exchange of Die (SMED)

O SMED é uma ferramenta *Lean*, desenvolvida na Toyota por Shigeo Shingo na década de 1960, e é uma das metodologias mais utilizadas pelas organizações. O principal objetivo desta ferramenta é reduzir os tempos de *set-up* quando a produção de um produto é interrompida e outra é iniciada, sendo esta a altura em que o operador poderá necessitar de limpar o equipamento ou alterar ferramentas [45].

A “qualidade” de um *set-up* é determinada por quatro elementos-chave, sendo estes, os aspetos técnicos do equipamento e das ferramentas, a organização do trabalho, o método utilizado e a motivação das pessoas envolvidas, assim como a sua formação. Todos estes elementos devem ser constantemente avaliados e melhorados [46].

Segundo o SMED, existem dois tipos de atividades num *set-up*, as internas e as externas. As atividades que necessitam de parar a máquina para se realizarem enquadram-se nos *set-ups* internos, enquanto as atividades que não necessitam de parar a máquina são consideradas *set-ups* externos [47].

O autor Kenichi Sekine encontrou vários desperdícios envolvidos na realização das atividades de *set-up*, que podem ser eliminados ou reduzidos com a aplicação do SMED, tais como, os movimentos de transporte de ferramentas, o tempo de troca de ferramentas e o tempo de afinação do equipamento para as especificações necessárias [46].

O SMED apoia-se em seis fases para reduzir os tempos de *set-up*. As atividades que se destinam a reduzir o tempo de preparação vão desde procedimentos muito simples, tais como uma mudança na localização da manutenção de ferramentas, até a implementação de dispositivos sofisticados para preparar e alterar matrizes. Estas ações são, geralmente, muito bem recebidas pelos operadores e são implementadas com entusiasmo, uma vez que muitas resultam das ideias e da experiência dos próprios trabalhadores, que estão no terreno e lidam diariamente com problemas.

O conhecimento dos aspetos técnicos dos equipamento e ferramentas, a organização do trabalho (quem faz o quê e quando), bem como o conhecimento do método (como fazer), constituem requisitos essenciais para o sucesso da implementação da metodologia SMED. É também importante fomentar o trabalho de equipa para que os ganhos inerentes à metodologia possam prosperar. A redução do tempo de preparação através do SMED produz muitos benefícios para as empresas que a utilizam. Estes conduzem à redução do tamanho dos lotes, menos stock, melhoria da qualidade, redução do *lead time*, aumento da flexibilidade e maior produtividade [23].

As seis fases da aplicação do SMED estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 Fases de aplicação do SMED

Fase	Explicação
Estudo do trabalho	Filmar o processo de troca de produção, com o objetivo de identificar, descrever e quantificar tempos para todas as tarefas envolvidas, discriminando quais são os <i>set-ups</i> internos e quais os externos
Separar <i>set-ups</i> internos e externos	Com o objetivo de minimizar os tempos de paragem, é necessário perceber quais são as paragens que estão a interromper o processo produtivo
Transformar os <i>set-ups</i> internos em externos	Criação de atividades pré-definidas, que serão realizadas antes ou depois do tempo de produção
Reduzir e eliminar <i>set-ups</i> internos	Eliminar a necessidade de ajustes, eliminar a necessidade de realizar trabalho paralelo, simplificar tarefas, treinar e praticar
Reduzir <i>set-ups</i> externos	Mesmo não interrompendo o processo produtivo, estas atividades consomem tempo e recursos. Por este motivo, toda a logística que suporta os <i>set-ups</i> deve ser melhorada
Resumir e criar normas	Criar o método operacional que sumariza o resultado das melhorias aplicadas e promover o trabalho normalizado

A implementação do SMED pode ser justificada pelos benefícios que oferece às organizações. Após a incorporação desta metodologia na empresa, é expectável o aumento da produtividade, a redução de *stocks*, o aumento da cadência e da capacidade de produção dos equipamentos, a melhoria da qualidade do produto, o aumento na segurança das operações e a melhoria nos tempos de preparação das máquinas [48].

No contexto de um mundo cada vez mais competitivo, que muda a cada segundo, é fundamental que as empresas estejam prontas para responder rapidamente às mudanças no mercado e para as mudanças empreendidas e exigidas pelos seus clientes, tornando o SMED numa ferramenta imprescindível para qualquer organização [23]. Na Figura 12 está representado um exemplo da aplicação desta metodologia.

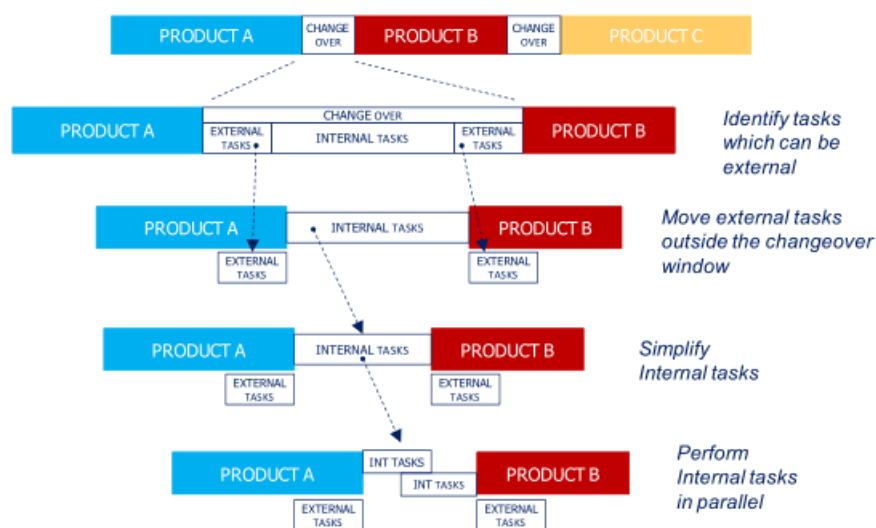


Figura 12 Exemplo de aplicação do SMED [23]

2.2.3. Diagrama Causa-Efeito

A definição mais detalhada do Diagrama de Causa-Efeito é dada pelo próprio criador, o Dr. Kaoru Ishikawa, no seu livro *“What is Total Quality Control? The Japanese Way”*, em 1985. Aqui refere que “este tipo de diagrama mostra a relação entre as características da qualidade e os fatores causais” [49]. De acordo com Ishikawa, a primeira aplicação deste diagrama remonta a 1952, onde foi usado na *Kawasaki Iron Fukia Works* com o objetivo de discutir os problemas relacionados com a qualidade dos produtos [50].

Este diagrama faz parte das sete ferramentas básicas do controlo da qualidade. É também conhecido como Diagrama de Ishikawa, nome determinado por Juran no seu livro *“Quality Control Manual”*, e também como diagrama espinha de peixe, uma vez que o seu formato remete para a estrutura de um peixe (Figura 13) [50].

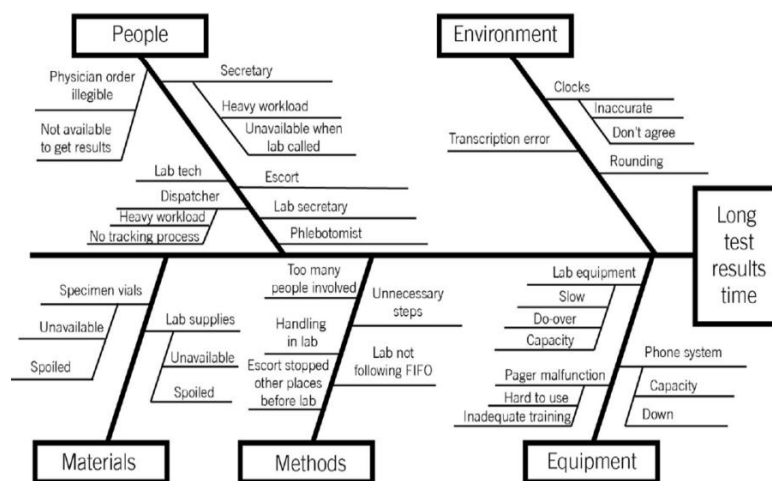


Figura 13 Exemplo de um Diagrama de Causa Efeito [50]

O diagrama de Ishikawa destina-se a identificar a variabilidade de uma característica como um efeito ou consequência de múltiplas causas, concentrando-se inteiramente nas suas causas e não nos efeitos. Este diagrama permite gerar o controlo de qualidade na perspetiva do processo, onde os responsáveis assumem o processo de identificação das causas de variabilidade e a sua eliminação. Sempre que um problema ou não-conformidade de uma característica de qualidade do produto ou do processo é detetada, é vital detalhar todas as causas possíveis da incoerência [50].

Sendo o objetivo deste diagrama a identificação da raiz de um determinado problema, é essencial perceber o que isto é. Para Paul Wilson, é a razão principal para a existência de um determinado problema, que, se for eliminada ou corrigida, irá prevenir os seus efeitos e, consequentemente, a progressão do problema [50].

A literatura atual definiu outras formas de utilização que estão próximas da já mencionada por Kaoru Ishikawa. Estas versões mais recentes concentram-se, principalmente, em duas definições alternativas. A primeira é o acrónimo "5M", cinco palavras inglesas começadas por "m", que são definidas como *machinery*, *manpower*, *material*, *measurement* e *method*, e se traduzem como maquinaria, mão-de-obra, material, medição e método, respetivamente. Outros autores também

incluem uma categoria relacionada com o ambiente. A partir destas categorias são contruídas as relações de causa-e-efeito geradas sob um processo dedutivo a partir da mais geral para a mais específica e particular. No entanto, podem surgir certas dificuldades em relacionar algumas categorias que não estão diretamente relacionadas com o efeito do problema estudado, desviando o foco das causas de raiz que se procuram encontrar [50]. Na Tabela 6 estão descritos os intervenientes referentes a cada categoria do 5M [51].

Tabela 6 Intervenientes das categorias do 5M

Interveniente	Designação
<i>Machinery</i>	Qualquer tipo de equipamento, computador ou ferramenta necessário para realizar o trabalho
<i>Manpower</i>	Todas as pessoas envolvidas no processo
<i>Material</i>	Qualquer tipo de matérias-primas, peças, canetas ou papeis utilizados na produção
<i>Measurement</i>	Todos os dados gerados a partir do processo que são utilizados para o avaliar
<i>Method</i>	Modo de realização e requisitos do processo, incluindo políticas, procedimentos, regras, regulamentos e leis

A segunda definição estabelece as relações de causa e efeito ao perguntar "porquê" para cada uma das causas em questão. A partir do efeito principal do problema, é questionado o porquê da sua existência, determinando assim as causas de primeiro nível. As causas de segundo nível são obtidas questionando o porquê das causas de primeiro nível existirem e assim sucessivamente, até o quinto nível ser alcançado. Por fim, são selecionadas as causas prioritárias e que têm um impacto direto no problema em estudo, analisando os impactos específicos de cada uma. Um problema desta abordagem é o aparecimento de causas aparentes, ou seja, causas que, na realidade, são efeitos ou sintomas dos problemas. Por este motivo, é importante detalhar as causas de primeiro e segundo grau [50].

Merwan B. Mehta apontou um problema da aplicabilidade desta ferramenta, que está relacionado com a quantidade de fatores causais de um problema. O diagrama não impõe qualquer limite ao número máximo de causas, ou seja, podem ser detetadas uma infinidade destas, o que irá dificultar a sua análise prática. Ishikawa argumentou, dizendo que, mesmo sendo possível serem identificadas muitas causas, são poucas as que realmente são importantes e que vão ter um impacto significativo [50].

2.2.4. A3 Report

O A3 Report obteve este nome devido ao tamanho da folha em que o relatório é desenvolvido. A razão pela qual foi escolhido o tamanho A3 advém do facto de grande parte da comunicação dentro das várias divisões da Toyota no passado ser através de fax e do maior tamanho de papel que se podia utilizar nestas máquinas ser o A3 [52].

Esta ferramenta lida simultaneamente com a resolução de problemas e tomada de decisões, sendo considerada um instrumento de comunicação eficaz por poder conter gráficos e diagramas juntamente com textos explicativos, com o objetivo de fornecer a todos os colaboradores informação relevante acerca do problema e das estratégias para a sua resolução [52].

Em suma, este relatório proporciona um processo rigoroso e sistemático de resolução de problemas, que permite que os mesmos sejam analisados em segmentos menores e de mais fácil resolução, para que os colaboradores possam identificar e fazer melhorias rapidamente [53].

Geralmente, o *A3 Report* está dividido em duas secções, uma à esquerda e outra à direita. A secção da esquerda inclui o tema, o historial do problema, a situação atual e a sua análise, enquanto a secção direita identifica o objetivo, o plano de implementação das medidas e o acompanhamento [52]. O relatório é lido de cima para baixo, começando pelo lado esquerdo e, só depois, é lido o lado direito (Figura 14).

Figura 14 Exemplo de um *A3 Report* [52]

Na Tabela 7 estão explicadas as secções desta ferramenta [54].

Tabela 7 Explicação das secções do *A3 Report*

Secção	Explicação
Tema	Indicar o problema que está a ser tratado. Deve centrar-se no problema e não defender uma solução particular
Historial	Descrever qualquer tipo de informação pertinente que seja essencial para a compreensão da extensão e importância do problema. Pode incluir informações acerca da descoberta do problema, da importância da sua resolução para os objetivos da organização, das partes envolvidas, dos sintomas do problema, da performance ou de experiências passadas
Situação atual	Desenvolvimento de um diagrama que retrata como o sistema onde reside o problema funciona. É necessário quantificar a extensão do problema através de indicadores pertinentes e exibir esta informação graficamente ou numericamente.
Análise de causas	Identificar e compreender as causas do problema. A falha desta análise pode significar a sua prevalência. É usual recorrer aos 5S's para identificar a raiz do problema.

Tabela 7 Explicação das secções do A3 Report (Cont.)

Secção	Explicação
Objetivo	Desenvolvimento de um diagrama que aborde o objetivo, isto é, representar de forma clara como é esperado que o sistema em análise funcione depois de serem aplicadas as ações de melhoria. Estas podem estar anotadas ao lado do diagrama.
Plano de implementação	Delineamento das etapas que devem ser cumpridas para ser possível alcançar o objetivo. É necessário enumerar os passos, estabelecer datas e tempos de atuação, assim como atribuir uma pessoa a cada ação.
Acompanhamento	Indicar como e quando será medida a melhoria do sistema ou os resultados de um teste. Deve incluir uma previsão realista e quantificada de como o novo sistema irá funcionar. A previsão deve ser tão precisa quanto possível, com base numa profunda compreensão sobre o problema e as ações de melhoria planeadas. Não deve ser um tiro no escuro, ou um caso irrealisticamente ideal.

O sucesso da aplicação desta ferramenta deve-se a um conjunto de vantagens, tais como permitir que as pessoas mais próximas do chão de fábrica possam ajudar na resolução de um problema e não apenas trabalhar em volta dele, não necessitando de nenhuma especialização, ser uma ferramenta visual, o que facilita a sua análise e ser extremamente completa, podendo ser possível visualizar todos os acontecimentos de um projeto de melhoria. No entanto, é necessário um esforço constante e vários problemas podem ser encontrados desde a análise de causas ao plano de implementação [54].

2.2.5. Matriz GUT

A matriz GUT, criada por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, no final da década de 1970 [55], é um método utilizado por muitas organizações com o objetivo de definir prioridades, dadas várias alternativas de ação, através da avaliação dos problemas de acordo com a sua gravidade, urgência e tendência [56]. Foram estes três parâmetros, que deram origem ao acrónimo GUT, estando explicados na Figura 15 [57].

Gravidade	Tem em atenção a intensidade e acuidade dos danos que o problema causa ou pode causar.
Urgência	Tem em consideração o tempo até o acontecimento dos danos, se não se resolver o problema.
Tendência	Tem em atenção a evolução do problema, se nada se fizer para o resolver.

Figura 15 Explicação dos termos da matriz de GUT

Numa empresa, a resolução de muitos problemas cria confusão na análise por parte das equipas de gestão, uma vez que podem ser encontradas dificuldades na identificação de questões prioritárias, que merecem maior atenção. É necessário separar os problemas e depois ordenar para resolver primeiro os mais relevantes. A grande vantagem de utilizar a matriz GUT é a possibilidade

de avaliar quantitativamente os problemas, tornando possível a priorização de ações corretivas e preventivas, facilitando o trabalho da gestão da organização [58].

Para criar esta matriz, é necessário, em primeiro lugar, listar todos os problemas e aspetos relacionados com o segmento a ser analisado. É importante estes aspetos serem específicos e estarem descritos de forma clara, a fim de evitar más interpretações. De seguida, é preciso criar uma escala para os parâmetros gravidade, urgência e tendência, sendo que, quanto maior o valor da escala definida, mais crucial é o problema. Posto isto, é necessário definir valores para cada parâmetro em todos os problemas listados. Por fim, os valores dos parâmetros são multiplicados, dando origem a um valor final. Quanto maior este valor, mais prioritário é o problema [56]. Na Tabela 8 e na Tabela 9 encontram-se exemplos de escalas para os parâmetros gravidade, urgência e tendência, bem como o de uma matriz GUT.

Tabela 8 Escala para os parâmetros da matriz GUT

Nível	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente grave	Ação imediata	Piora rapidamente
4	Muito grave	Muito urgente	Piora no curto prazo
3	Grave	Urgente	Piora a médio prazo
2	Pouco grave	Pouco urgente	Piora a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não piora

Tabela 9 Exemplo de uma matriz GUT

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	G*U*T
P1	3	5	4	60
P2	3	2	4	24
P3	5	1	4	20

2.3. Key Performance Indicators (KPI)

Os *Key Performance Indicators*, ou KPI, são amplamente utilizados na gestão empresarial. Embora Robert Kaplan e David Norton, criadores do *Balanced Scorecard*, defendam que nenhuma definição consegue descrever o poder que estes indicadores têm na estratégia de uma organização, os KPI podem ser descritos como medidas de desempenho quantificáveis utilizadas para medir fatores de sucesso [59]. Os fatores de sucesso, desempenham um papel vital na transformação dos objetivos organizacionais em dados mensuráveis e em ajudar a organização a compreender o seu desempenho dentro do contexto dos seus objetivos [60].

Como os KPI têm em conta uma vasta gama de elementos em forma de objetivos, torna-se difícil defini-los com precisão. Por conseguinte, as empresas dependem de gestores para definirem os indicadores apropriados [60]. A seleção destes indicadores deve ter em conta vários aspetos, tais como, a correlação com os objetivos da empresa, serem significativos e eficazes na representação e explicação do processo de criação de valor e serem fiáveis, abrangentes, consistentes e comparáveis [61].

Não existe nenhum limite específico na escolha dos KPI, no entanto, não devem ir para além daquilo que é importante e necessário para a empresa. Para o efeito, devem ser selecionados indicadores que sintetizem eficazmente a situação da organização e as suas perspetivas [61].

Os indicadores de performance das operações podem ser divididos em dois grupos conceptuais, os que envolvem custos, onde estão incluídos custos de produção ou a produtividade, e os que não envolvem custos, onde se incluem a qualidade, o tempo ou a flexibilidade. A sua explicação está presente na Tabela 10 [62].

Tabela 10 Explicação dos tipos de indicadores

Tipo de indicador	Explicação
Com custos envolvidos	Distinguem-se por terem uma ligação direta, explicável por fórmulas matemáticas, com os resultados da empresa, ou seja, o rendimento líquido e rentabilidade;
Sem custos envolvidos	São geralmente medidos por unidades não monetárias e, mesmo influenciando os desempenhos financeiro e económico (rendimento líquido e rentabilidade), a ligação com eles não pode ser calculada <i>a priori</i> de uma forma precisa.

Os indicadores de desempenho que envolvem custos incluem, como dito anteriormente, os custos de produção, que, por um lado, albergam os materiais e mão de obra, e, por outro, a maquinaria, e a produtividade, que pode ser total ou específica. A produtividade específica tem em conta o capital e o valor acrescentado, bem como o sentido técnico da produção, sendo considerada neste caso, a produtividade laboral, a maquinaria, e os níveis de inventário e de trabalho em curso. A produtividade total, uma vez que diz respeito a todos os recursos utilizados para atingir um determinado resultado, é uma combinação do capital e da produtividade da produção. Qualquer produtividade pode ser definida pela relação entre os *outputs* e os *inputs*, sendo que os *outputs* são, geralmente, quantidades de produção, enquanto os *inputs* consistem no capital ou na utilização de mão de obra. Existe ainda o controlo do nível dos inventários e a saturação da maquinaria [62].

Os principais indicadores de performance são relativos aos custos de material e de mão de obra e aos níveis de inventário e de trabalho em curso, seguidos do nível de controlo sobre os custos energéticos e sobre o desgaste das máquinas [62].

Os indicadores relacionados com o tempo podem ser divididos em internos e externos, sendo que os primeiros só têm em consideração os processos realizados exclusivamente dentro da organização, e os segundos os processos que envolvem os clientes. Os indicadores externos podem ter em consideração, por exemplo, o fornecimento, os *lead-times*, a velocidade e fiabilidade de entrega, tanto de fornecedores como para clientes, ou o tempo de alocação no mercado [62].

Já no que toca a indicadores de qualidade, estes podem ser diferenciados entre qualidade produzida, qualidade percebida, qualidade dos fornecedores e custos de qualidade. As definições destes termos encontram-se na Tabela 11 [62].

Tabela 11 Explicação dos tipos de indicadores de qualidade

Tipo de indicador	Explicação
Qualidade produzida	Inclui artigos que se encontram dentro das medidas do processo de controlo estatístico e o número de defeitos
Qualidade percebida	Tem em consideração a satisfação do cliente e o desempenho dos serviços de assistência técnica
Qualidade dos fornecedores	Inclui os resultados do controlo de certificações de compras e a classificação de qualidade do fornecedor.
Custos de qualidade	Incluem os custos de manutenção e de retrabalho

A Figura 16 resume todas as medidas de performance anteriormente explicadas.

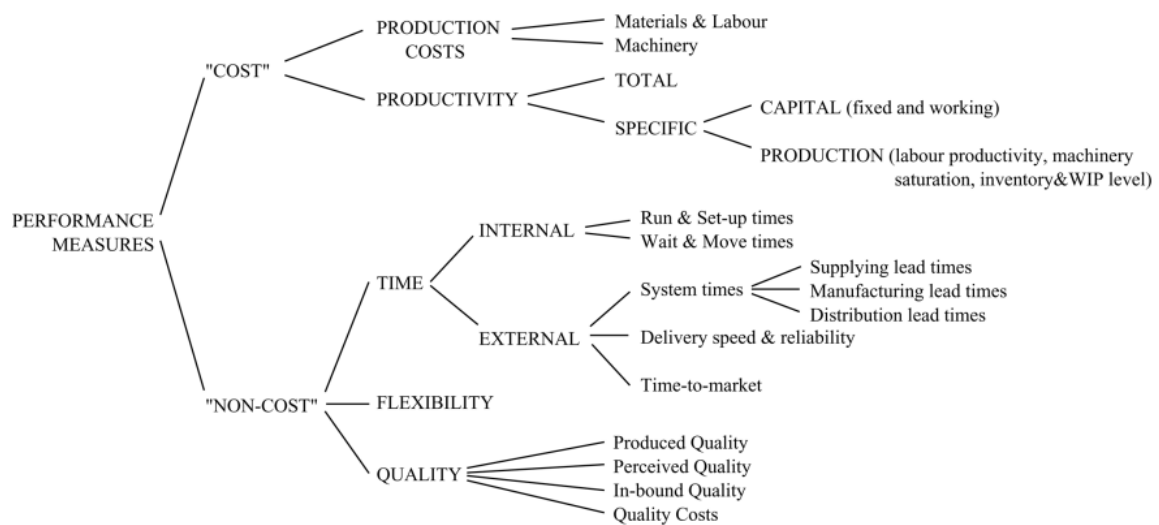


Figura 16 Resumo estruturado dos indicadores de performance [62]

3. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO

Ao longo deste capítulo será explicado o funcionamento da linha de produção onde foi realizado o projeto, bem como será descrito o processo produtivo dos cilindros que são produzidos. Também é apresentada a situação inicial e os objetivos definidos para este projeto.

3.1. Funcionamento da Linha de Produção

A linha de produção onde foi realizado o projeto é responsável pelo fabrico de três tipos de produtos, os cilindros calandrados, os cilindros *ply ups*, sendo também produzida a matéria-prima necessária para a produção dos cilindros, designada por *pigs*, rolos de borracha com aditivos. Esta linha opera 5 dias por semana, 24 horas por dia, com três turnos de 8 horas. Para a realização deste projeto irão apenas ser analisadas as produções de calandrados e de *ply ups*.

Cada turno é responsável por produzir um determinado tipo de produto e podem ser produzidas várias referências por turno. O objetivo de produção difere consoante o tipo de produto e, no caso dos *pigs*, com a quantidade de referências produzidas. O horário de cada turno, o tipo de produto e o objetivo de produção estão representados na Tabela 12.

Tabela 12 Horário, tipo de produto e objetivo de produção dos três turnos da linha

Turno	Horário	Tipo de Produto	Objetivo
1	6h – 14h	Calandrado	26
2	14h – 22h	<i>Ply up</i>	12
3	22h – 6h	<i>Pigs</i>	1 Referência – 500 <i>Pigs</i> 2 Referências – 300 <i>Pigs</i>

Relativamente aos turnos 1 e 2, caso o objetivo de produção seja alcançado antes do final do turno, podem começar a produção do turno seguinte, ou seja, o primeiro turno pode começar a produção de *ply ups* e o segundo turno pode começar a produção de *pigs*. O terceiro turno foca-se exclusivamente na produção de *pigs*, que são necessários à produção de calandrados e *ply ups*. Como a produção de *pigs* não satisfaz as necessidades de produção dos cilindros calandrados e *ply ups*, estes são também comprados a uma empresa externa.

Na Figura 17 está esquematizado um dia de produção.

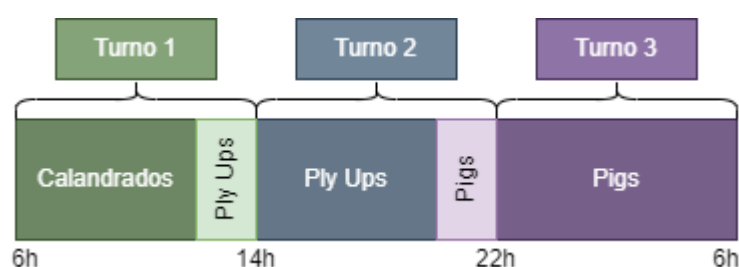


Figura 17 Esquematização do funcionamento de um dia de produção

Nos momentos de troca de turno, o *team-leader* é responsável por passar a informação relevante e necessária para o bom funcionamento da linha, como por exemplo, avarias que transitaram, dificuldades durante a produção ou o que foi produzido durante o turno.

3.2. Processo produtivo e objetivos

O processo produtivo da linha em estudo é complexo. Como está responsável por produzir dois tipos de cilindros diferentes, encontra-se dividida em duas partes distintas, em que uma é responsável pelos calandrados e a outra é responsável pelos *ply ups*, existindo, ainda, uma zona que é comum à produção dos dois tipos de cilindros. Nos subcapítulos seguintes serão descritos os dois tipos de cilindros, bem como o seu processo de produção e problemas encontrados.

3.2.1. Cilindros calandrados

Os cilindros calandrados apresentam uma dimensão fixa de 635 mm de diâmetro externo e 1066 mm de altura. São produzidos por enrolamento em contínuo de uma banda da mistura de borracha com cortiça homogeneizada. O processo de moldagem e desmoldagem de cilindros ocorre em simultâneo e coordenadamente. A produção de cilindros calandrados requer bastante intervenção por parte dos operadores durante todo o processo de fabrico, o que o torna particularmente complicado e complexo. A cor dos cilindros varia dependendo da referência. Na Figura 18 está representado um exemplo de cilindros calandrados.



Figura 18 Exemplo de cilindros calandrados

O processo de produção destes cilindros inicia-se com o transporte de granulado, através dos ciclones, respetiva deposição nos mini silos e pesagem dos produtos químicos, que constam na folha de especificação da referência a produzir. Os químicos encontram-se armazenados em cacifos e são pesados automaticamente com o auxílio de um transportador que desliza sobre carris.

Ao analisar estes procedimentos, foram detetados vários problemas. Em primeiro lugar, verificaram-se dificuldades na pesagem dos produtos químicos, devido à sua aglomeração nos cacifos e ao facto de aderirem às paredes dos mesmos. Em segundo lugar, notaram-se complicações no transporte de granulado, tanto nos ciclones como nos mini silos. Por último, foram registadas contaminações de água no granulado, um indício de presença de fugas nos ciclones ou nos mini silos.

Na Figura 19 estão representados os ciclones, localizados por cima do teto da fábrica, na Figura 20 os mini silos, localizados no piso superior, e na Figura 21, os cacifos com o transportador, no piso imediatamente abaixo dos mini silos.



Figura 19 Ciclones

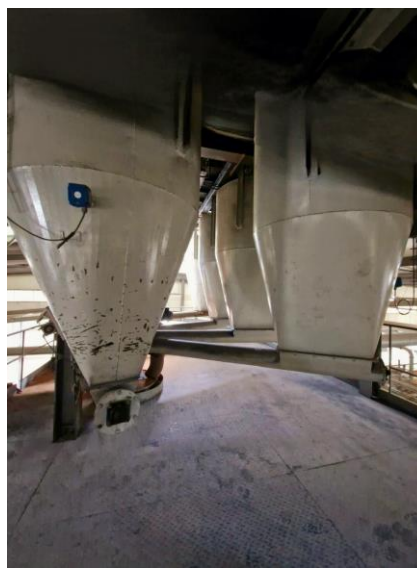


Figura 20 Mini silos



Figura 21 Cacifos de armazenamento de químicos e sistema de pesagem

Em seguida, os produtos químicos são colocados num tapete rolante, juntamente com os *pigs*, representados na Figura 22, e são transportados para dentro do *Banbury*, em conjunto com o granulado, que é conduzido desde os mini silos para o seu interior. O *Banbury* é um misturador interno que, através do aquecimento e trituração de todos os componentes, transforma-os numa mistura, denominada mistura final ou, abreviando, MF. Na Figura 23 está representado o *Banbury*, localizado no mesmo piso dos cacifos de produtos químicos.



Figura 22 Exemplo de um pig



Figura 23 Banbury

Depois de a mistura final estar pronta, a porta de descarga do *Banbury* abre, deixando a mistura final cair entre os rolos do *Gumix*, um misturador aberto que tem como função homogeneizar a mistura final. Na zona inferior deste equipamento estão localizadas três facas, cujo objetivo é cortar a mistura para que depois uma parte seja transportada, através de tapetes, até ao próximo equipamento. A outra parte pode ser colocada no *stock blender* para auxiliar a homogeneização, sendo apenas utilizado quando a ductilidade do material o permite.

Durante a análise do processo produtivo, foram constatados dois problemas neste equipamento, uma fuga de óleo que estava a contaminar a massa, provocando dificuldades no seu processamento e não conformidades, e desgaste excessivo das facas que cortam a banda.

O *Gumix* localiza-se no piso inferior da fábrica e está representado na Figura 24, assim como a banda a ser cortada pelas facas, zona inferior, e do *stock blender*, zona superior.



Figura 24 *Gumix*, com a banda a ser cortada pelas facas (zona inferior) e o *stock blender* (zona superior)

A partir do momento que a mistura se transforma numa massa homogénea, é transportada uma banda estreita, ao longo de três tapetes rolantes, para outro misturador aberto, como representado na Figura 25. A passagem da massa por estes três tapetes é algo que acarreta algumas dificuldades, pelo facto de o percurso implicar mudanças de sentido. A viscosidade de algumas referências também prejudica este processo, por aderirem demasiados aos tapetes.

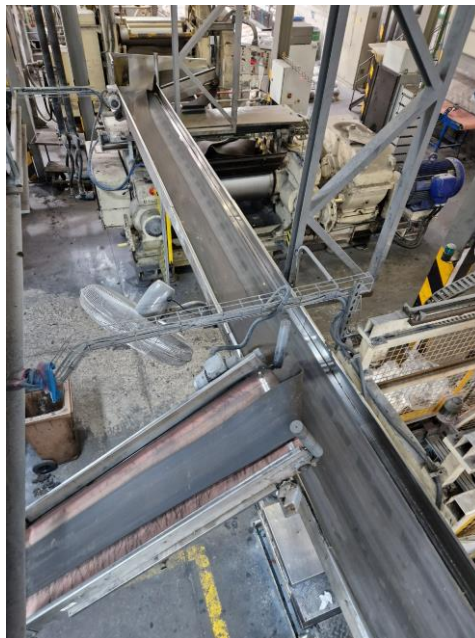


Figura 25 Tapetes de transporte da banda

No misturador aberto, a massa é novamente homogeneizada e cortada, desta vez numa banda mais larga, que irá ser admitida na calandra de três rolos. Na Figura 26 está representado o misturador aberto, lado esquerdo, e a admissão da banda na calandra de três rolos, lado direito.



Figura 26 Passagem da massa do misturador aberto (lado esquerdo) para a calandra (lado direito)

A calandra de três rolos homogeneiza mais uma vez a mistura e corta uma banda com comprimento e espessura definidos. O comprimento corresponde à altura do cilindro, ou seja, 1066 mm, e a espessura depende da referência produzida. A definição da espessura na calandra é algo que, com o passar do tempo, se foi manifestando como um problema, provocando não conformidades devido a elevada porosidade. A banda segue para o enrolador, passando por uma guilhotina. No enrolador, como o nome indica, a banda é enrolada à volta de um núcleo previamente colocado, formando o cilindro. A guilhotina tem como finalidade cortar a banda quando o diâmetro do cilindro no enrolador atingir o valor pretendido. A Figura 27 apresenta o processo de passagem da banda desde a calandra até à guilhotina e a Figura 28 a saída da banda da guilhotina até ao enrolador.

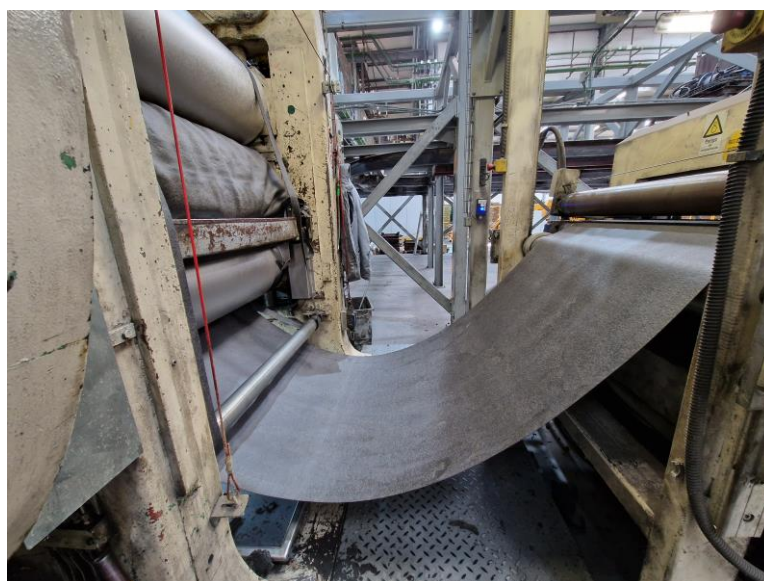


Figura 27 Passagem da banda desde a calandra (lado esquerdo) para a guilhotina (lado direito)



Figura 28 Saída da banda da guilhotina para o processo de enrolamento

Quando concluído o enrolamento, o cilindro é pesado e um manipulador transporta-o para a prensa. Neste equipamento, já se encontra um molde aberto e o cilindro é lá colocado para ser prensado e para serem colocadas as tampas nos topos do molde, assim como as cavilhas. O funcionamento deste equipamento é problemático, principalmente na colocação e remoção das cavilhas. A Figura 29 representa a colocação do cilindro na prensa, através do manipulador.

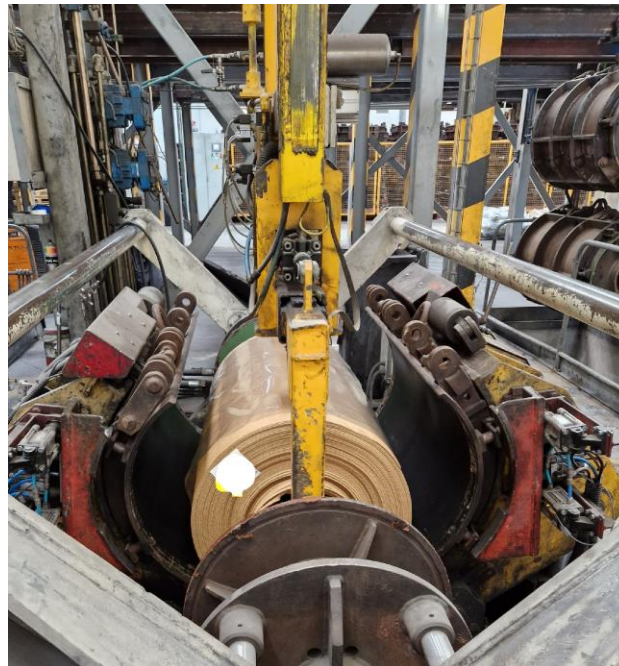


Figura 29 Colocação do cilindro na prensa com o manipulador

Depois de prensado, o molde com o cilindro no seu interior é colocado num carro de transporte elevatório, com o auxílio do manipulador, para ser engatado nos carris que o guiam para a estufa, onde irá vulcanizar entre 11h a 14h, dependendo da referência. Os moldes são colocados nos carris na horizontal e aos pares e são transportados para a estufa ao serem empurrados com um empilhador. A estufa tem capacidade para vulcanizar 26 cilindros em simultâneo. A Figura 30 representa a colocação dos moldes nos carris e a Figura 31 representa os moldes no interior da estufa.



Figura 30 Colocação dos moldes nos carris



Figura 31 Colocação dos moldes na estufa

Após a vulcanização dos cilindros, os moldes são empurrados com um empilhador e colocados um de cada vez na prensa para serem desmoldados, novamente com o auxílio de um carro de transporte elevatório e de um manipulador. Aqui, depois da desmoldagem, outro manipulador transporta o cilindro para o expulsor e o molde fica aberto na prensa para receber o cilindro que está a ser enrolado ao mesmo tempo que este processo decorre. No expulsor, é retirado o núcleo do cilindro e transportado para o enrolador através de um sistema de tapetes de transporte. A Figura 32 representa a saída do núcleo do cilindro.



Figura 32 Saída do núcleo do cilindro

3.2.2. Cilindros *ply ups*

Os cilindros *ply ups* apresentam um diâmetro exterior fixo de 762 mm e uma altura que pode variar entre 43, 49 e 54 polegadas. São produzidos através do empilhamento de várias rodas dentro de um molde, que acabam por formar um cilindro. Tal como acontece nos cilindros calandrados, a moldagem e a desmoldagem de cilindros ocorre simultanea e ordenadamente. A cor dos *ply ups* também pode variar dependendo da referência. Na Figura 33 estão representados exemplos de cilindros *ply up*, facilmente identificáveis devido ao facto de, na camada exterior, ser possível visualizar as marcas de cada roda que o compôs.



Figura 33 Exemplos de cilindros *ply ups*

O processo de produção dos cilindros *ply ups* é, em parte, igual ao dos calandrados, sendo utilizados os mesmo equipamentos. Até à homogeneização da mistura final no *Gumix*, tudo se processa da mesma forma, mas a partir deste ponto, os equipamentos deixam de ser partilhados e a massa formada é transportada por tapetes rolantes até ao misturador aberto que está no lado oposto ao utilizado na produção dos calandrados. O objetivo deste equipamento é exatamente o mesmo, homogeneizar a banda da mistura final e cortá-la numa banda mais larga, sendo que a largura desta banda já possui um comprimento definido. A Figura 34 representa a alimentação do misturador aberto com a banda que vem do *Gumix* e a sua homogeneização.



Figura 34 Admissão da banda no misturador aberto

Após a passagem pelo misturador aberto, a banda segue por um tapete de transporte até à guilhotina, onde será cortada em folhas com dimensões definidas. As folhas são empilhadas numa chapa com o auxílio de uma pinça automatizada. A Figura 35 representa o transporte da banda até à guilhotina e a Figura 36 demonstra a pinça a empilhar as folhas.



Figura 35 Transporte da banda até à guilhotina



Figura 36 Empilhamento das folhas

Quando o número de folhas empilhadas atingir o valor pretendido, a chapa desloca-se até à prensa de corte. Este equipamento prensa as folhas e, ao mesmo tempo, corta-as com a forma de uma coroa circular, comumente denominada por roda, cujo diâmetro exterior é o valor do diâmetro do cilindro, 762 mm. O furo interior é onde irá passar o núcleo. A Figura 37 representa a prensa de corte e as folhas depois de serem cortadas e prensadas.



Figura 37 Prensagem e corte das folhas na prensa e formação da roda

Depois desta operação, a chapa é transportada até um atuador que empurra a roda para outro conjunto de tapetes que a transportará até ao molde. A chapa retorna até à zona de empilhamento de folhas, sendo que existem várias para que o fluxo de produção não pare. A roda é colocada dentro de um molde, posicionado verticalmente, e vão sendo empilhadas várias rodas até atingir a altura pretendida. Por norma, os cilindros de 43 polegadas precisam de sete rodas, os de 49 polegadas necessitam de oito rodas e os de 54 polegadas precisam de nove rodas. A Figura 38 representa o empilhamento das rodas dentro do molde.



Figura 38 Empilhamento de rodas no molde

Quando empilhadas todas as rodas necessárias, é colocada a tampa no molde e é transportado para a prensa com um empilhador. A tampa é colocada com o auxílio de um diferencial, que a eleva e move até à posição correta. Já na prensa, o cilindro é prensado e são colocadas as cavilhas que impedem o movimento da tampa. A Figura 39 mostra a manipulação das tampas e a Figura 40 representa o molde a ser prensado.



Figura 39 Manipulação das tampas dos moldes



Figura 40 Prensagem do cilindro na prensa

De seguida, novamente com o uso do empilhador, o molde é colocado nos carris que o conduzem até à estufa, onde o cilindro irá vulcanizar entre 15 e 24 horas, dependendo da referência. Os moldes são colocados na estufa na vertical e são empurrados com o empilhador, sendo que esta tem capacidade para colocar doze *ply ups*. A Figura 41 representa os moldes nos carris.



Figura 41 Moldes alinhados nos carris

Como se pode verificar, a utilização do empilhador é absolutamente necessária para o normal funcionamento da linha de produção. Contudo, o único empilhador existente é partilhado com outra linha de produção e, muitas vezes, não está disponível, condicionando a produção de *ply ups*.

Após a vulcanização dos cilindros, os moldes são empurrados para fora da estufa, sendo necessário o seu arrefecimento durante trinta a quarenta e oito horas, e, posteriormente, são colocados na prensa de desmoldagem com o empilhador. Esta prensa é subterrânea e tem como função retirar os cilindros vulcanizados dos moldes, com o auxílio de uma pinha, que segura no cilindro e o coloca na horizontal. O molde não poderá ser utilizado nas próximas 24 horas, porque é necessário colocar desmoldante no seu interior. A Figura 42 representa a saída do cilindro vulcanizado do molde.



Figura 42 Desmoldagem do cilindro

3.2.3. Situação inicial e objetivos

Este projeto tem como objetivo aumentar o *output* de uma linha de produção, responsável pela produção de cilindros calandrados e *ply ups*. Com o intuito de analisar a evolução do projeto e ter um termo de comparação, foi calculada a média de produção dos meses de junho e julho de 2022. Foram escolhidos estes dois meses devido ao facto de o funcionamento e planeamento da linha de produção ter sido igual ao que se verificou durante a realização do projeto, ou seja, o primeiro turno a produzir calandrados, o segundo turno a produzir *ply ups*, o terceiro turno a produzir *pigs* e a compra regular destes últimos a uma empresa externa. Assim sendo, foi dividido o número de cilindros produzidos nestes dois meses pelo número de dias de trabalho que existiram. A Tabela 13 apresenta os dados que foram considerados para o cálculo da média.

Tabela 13 Dados relativos ao cálculo da média de produção antes da realização do projeto

Dados	Calandrados	<i>Ply ups</i>
Dias de trabalho	40	40
Cilindros produzidos	741	453
Média de produção diária	18,5	11,3

Por norma, todas as ordens de fabrico têm planeada a produção de 26 cilindros calandrados no primeiro turno e 12 *ply ups* no segundo turno, visto que é o limite de capacidade das estufas, como referido anteriormente. Contudo, mesmo quando as cadências das referências permitem produzir esta quantidade durante o turno, existem vários obstáculos que impedem o cumprimento da

ordem de fabrico, o que justifica a média verificada nos meses de junho e julho, calculada anteriormente. Posto isto, foram estabelecidos valores objetivo para as médias de produção diária destes dois tipos de cilindros, que se situam em 20 cilindros por turno, no caso dos calandrados, e em 12 cilindros por turno, no caso dos *ply ups*, o equivalente a um aumento percentual de 8% e de 6%, respetivamente.

Na análise da produção serão expurgados os dias em que a produção é condicionada pelo planeamento, quer isto dizer, que não serão considerados os dias em que nas ordens de fabrico não esteja previsto produzir 26 calandrados ou 12 *ply ups*, nem quando está planeada a realização de testes ou experiências. Também não será considerada a produção de referências cujas cadências não permitam atingir o objetivo, de forma a tornar a análise mais correta.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Ao longo deste capítulo, será descrito o desenvolvimento do projeto realizado e as ações de melhoria desenvolvidas para colmatar os problemas encontrados.

Numa fase inicial, enquanto o processo produtivo era estudado, foi registado o *feedback* dos operadores em relação à percepção que tinham sobre os principais motivos de paragem da linha de produção, os equipamentos mais críticos e principais dificuldades. Concluiu-se que o gargalo da produção são as estufas, mas que, devido às sucessivas paragens e quebras de cadência produtiva, se tornava complicado enchê-las completamente. Posto isto, todas as semanas eram discutidos e analisados com os supervisores, responsável da manutenção, engenheiro de processo e diretora industrial os problemas que foram encontrados inicialmente, bem como os problemas que surgiram na semana anterior à da reunião, e definidas ações de melhoria, que eram colocadas na plataforma Microsoft Planner, onde os responsáveis de cada ação davam informação sobre o seu desenvolvimento. Desta forma, foi possível manter todas os intervenientes a par do que estava a ser desenvolvido.

Com o objetivo de estabelecer indicadores que traduzam a evolução e estado do projeto, foi criado um relatório na plataforma Power BI, disponibilizado semanal e mensalmente, onde é possível constatar as médias de produção dos dois tipos de cilindros, as médias de tempo de produção e de tempo de paragem dos dois turnos e os motivos de perda de produção e de tempo produtivo, nestes espaços temporais. O relatório foi explicado aos operadores e afixado no quadro *Kaizen*, de forma a terem acesso à informação, e enviado por *e-mail* à restante equipa. Este relatório é alimentado por um ficheiro Excel, que contém duas tabelas, uma, onde se encontram os dados para o cálculo das médias de produção e de tempo teórico de produção, e outra, que contém os dados para o cálculo da média de tempo de paragem e para a listagem dos motivos de perda de produção e de tempo produtivo. A Tabela 14 explica todos os dados introduzidos que possibilitam a criação do relatório.

Tabela 14 Explicação dos dados analisados

Dados	Explicação
Dia e semana	Ambas as tabelas têm este registo, por forma a ser possível filtrar os dados por semana e por mês
Turno	Está especificado nas duas tabelas, com o objetivo de filtrar os dados e analisar as médias de tempo teórico de produção e de tempo diário de paragem de cada turno
Tipo de cilindro	Está presente na tabela relativa à produção e tem como objetivo filtrar o relatório por tipo de cilindro
Referência	Está presente na tabela relativa à produção e serve apenas para dar conhecimento do que foi produzido
Expurgar	Está presente na tabela relativa à produção e tem como função filtrar os dias que serão contabilizados na análise
Objetivo	Está presente na tabela relativa à produção e dá conhecimento acerca do objetivo pretendido para cada dia
Produzido	Está presente na tabela relativa à produção, dando informação acerca do que foi produzido em cada dia

Tabela 14 Explicação dos dados analisados (Cont.)

Dados	Explicação
Tempo total de paragem	Está presente na tabela relativa à produção e apresenta o valor respetivo ao tempo total de paragem, sendo usado no cálculo do número de cilindros perdidos
Cadência (cilindros/hora)	Está presente na tabela relativa à produção e dá informação acerca de quantos cilindros de uma determinada referência são possíveis produzir por hora. É usado no cálculo do número de cilindros perdidos e no tempo teórico de produção
Número de cilindros perdidos	Está presente na tabela relativa à produção e devolve o valor de cilindros que não foi possível produzir devido às paragens existentes. É calculado dividindo a cadência pelo tempo total de paragem
Tempo teórico de produção	Está presente na tabela relativa à produção e dá informação acerca do tempo que foi necessário para a produção realizada, tendo em conta a cadência da referência. É calculado dividindo o número de cilindros produzido pela respetiva cadência
Tempo de paragem	Está representado na tabela relativa às paragens e, ao contrário do tempo total de paragem, atribui a cada paragem um motivo
Motivo de paragem	Está representado na tabela respetiva às paragens e atribui a cada paragem um motivo
Perda de produção	Está representado na tabela respetiva às paragens e, ao contrário do número de cilindros perdidos, atribui a cada paragem o número de cilindros que seria produzir naquele tempo

A Tabela 15 explica os campos presentes no relatório em Power BI.

Tabela 15 Explicação dos dados do Power BI

Dados	Explicação
Média da produção (cilindros/dia)	É calculado através da divisão da soma de todos os cilindros produzidos pelo número de dias em que foram produzidos, estando diferenciados os calandrados e os <i>ply ups</i> . O tempo considerado era uma semana, no caso dos relatórios semanais, ou um mês, no caso dos relatórios mensais.
Média do tempo teórico de produção (h/dia)	É calculado através da divisão da soma dos tempos teóricos de produção pela quantidade de dias considerado, estando diferenciados os dois turnos
Média do tempo de paragem (h/dia)	É calculado através da divisão da soma dos tempos de paragem pelo número de dias considerado, estando diferenciados os dois turnos
Perdas de produção	Apresenta os motivos que condicionaram a produção de cilindros
Perdas de tempo produtivo	Apresenta os motivos que condicionaram o tempo produtivo
Perdas de tempo produtivo	Apresenta os motivos que condicionaram o tempo produtivo

A Figura 43 retrata um exemplo do relatório em Power BI.

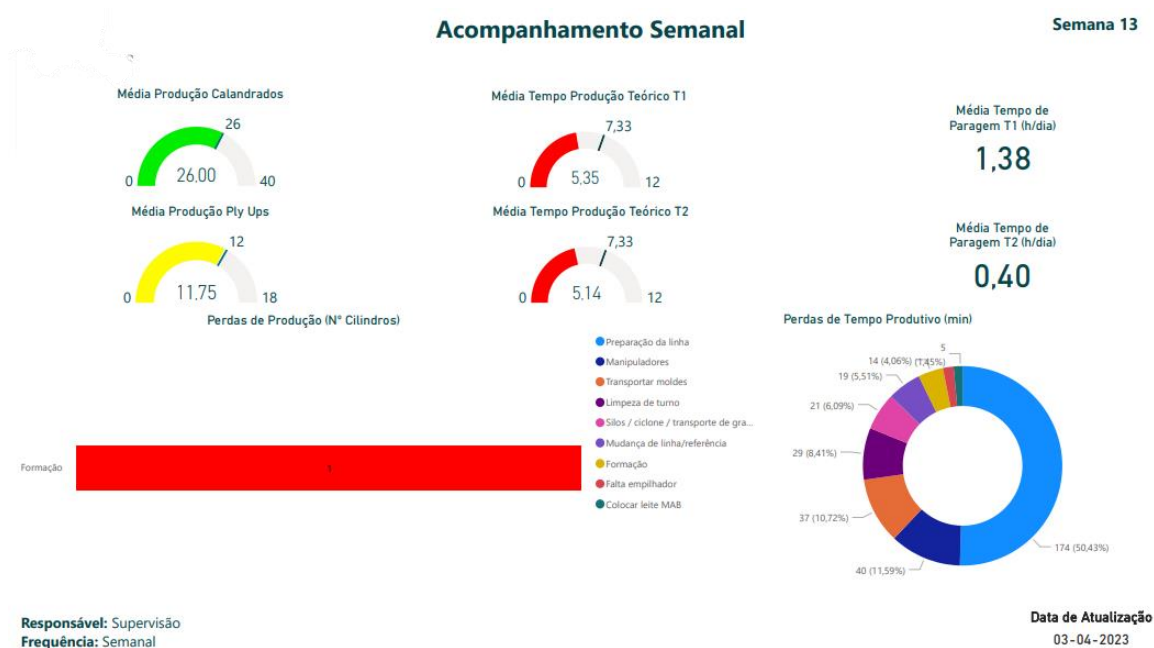


Figura 43 Relatório semanal em Power BI

O principal objetivo da colocação das médias de tempo teórico de produção e de tempo de paragem é avaliar se existem quebras de cadência, pois, em certas referências, as cadências permitem alcançar o objetivo antes do final do turno. Isto significa que o facto de o objetivo ser cumprido não valida a boa qualidade produtiva do turno. A cada turno de oito horas estão planeadas uma paragem de meia hora para almoço ou jantar e uma paragem de dez minutos para lanche, portanto, cada turno terá de ter 7,33 horas de tempo de produção. O desejável é manter o tempo teórico de produção o mais próximo possível deste valor, mas como o tempo de paragem irá sempre condicioná-lo, apenas existirá quebra de cadência se a soma do tempo teórico de produção e do tempo de paragem não perfizer as 7,33 horas.

Todos os valores considerados na realização deste projeto foram retirados da plataforma TraksSYS.

4.1. Ações de melhoria

Neste subcapítulo serão apresentadas as ações de melhoria desenvolvidas ao longo do desenvolvimento do projeto que visaram a resolução dos problemas identificados.

4.1.1. Aglomeração de produtos químicos nos cacifos

Como descrito anteriormente, a aglomeração dos produtos químicos nos cacifos era um dos problemas responsáveis pela quebra de cadência da produção. Este problema condicionava o processo de pesagem dos produtos químicos, pois, quando estavam a ser depositados na balança, era recorrente caírem pedaços aglomerados em vez de grãos finos, o que, por vezes, fazia com que

o peso fosse ultrapassado, sendo necessário recomeçar todo o processo. Também era comum os produtos químicos não caírem por estarem colados às paredes dos cacifos.

Concluiu-se que a causa da aglomeração dos produtos químicos se devia ao facto de serem colocados em grandes quantidades nos cacifos, o que fazia com que a pressão no fundo fosse elevada, causando a sua aglomeração.

A solução deste problema passou por abastecer apenas um saco de produto químico por cacifo. Desta forma, a pressão sobre os químicos no fundo dos cacifos não era suficiente para ficarem aglomerados. Para isso, foram colocados avisos na zona de abastecimento dos cacifos com o objetivo de todos os operadores terem conhecimento do procedimento. A Figura 44 retrata um exemplo dos avisos colocados na zona de abastecimento dos químicos.



Figura 44 Avisos colocados para limitar a colocação de químicos nos cacifos

Com o intuito de melhorar ainda mais esta situação e de reduzir o número de vezes que os operadores têm de se deslocar para abastecer os químicos, foi sugerida a colocação de anéis vibratórios em torno dos cacifos. O objetivo seria possibilitar a colocação de maiores quantidades de produto químico nos cacifos e, com a vibração provocada, a sua aglomeração e aderência às paredes dos cacifos fosse impedida. Contudo, esta ação de melhoria não foi implementada devido à falta de orçamento.

4.1.2. Problemas no transporte de granulado

Tal como referido no capítulo anterior, foi detetado que existiam várias paragens relacionadas com o transporte de granulado. Quando questionados, os operadores constataram que as velocidades com que o granulado é transportado devidamente variam de acordo com o número de tipos de granulado, com o seu tamanho e com o tipo de cilindro que está a ser produzido, não tendo sido estipulados valores padrão. A utilização de uma velocidade demasiado elevada pode desencadear efeitos electroestáticos e fazer com que o granulado fique acumulado nas paredes do ciclone.

Ainda relacionado com a velocidade de transporte de granulado, foi verificado que era recorrente o sensor dos mini silos dar sinal em como estavam cheios, mesmo não sendo verdade. Em conjunto com o chefe de manutenção, concluiu-se que isto poderia acontecer devido à acumulação de granulado em volta do sensor.

Com vista a solucionar estes problemas, foi desenvolvida uma *One Point Lesson* (OPL), que define valores padrão para o transporte de granulado, tendo em conta os parâmetros que o fazem variar, abordados no parágrafo anterior. Também foram dadas instruções acerca de como proceder caso o fluxo de transporte de granulado seja interrompido. O intuito desta OPL também passa por facilitar a integração de um novo operador neste posto de trabalho, caso aconteça. A Figura 45 representa a OPL criada, afixada na zona onde se encontra o operador, para que possa consultar sempre que seja necessário.

ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Velocidade de transporte de granulado no Banbury02		
Responsabilidade:	Operadores	Data:	10/1/2023

1

De acordo com a quantidade de tipos de granulado e o seu tamanho, o operador deve escolher o valor indicado para a velocidade de transporte de granulado.
Os valores são apenas referências e devem ser ajustados consoante as necessidades produtivas.

Tamanho granulado	Quantidade tipos granulado	Velocidade de granulado (Hz)	
		Calandrados	Ply ups
0,5 - 1	1	32	32
	2	32	32
1 - 2	1	35	35
	2	35	32
2 - 3	1	35	35
	2	35	32

2

Caso o fluxo de transporte seja interrompido constantemente, baixar ligeiramente a velocidade. Verificar a página da figura com regularidade.




Figura 45 OPL de definição das velocidades de granulado

Contudo, mesmo com os valores para a velocidade de transporte de granulado definidos e o problema inicial ter sido atenuado, ainda existiam paragens relativas a este problema. Desta vez, os operadores relataram que o sensor continuava a dar sinal de que os mini silos estavam cheios, mesmo não sendo verdade. Como foi dito anteriormente, o chefe de manutenção atribuiu a causa

deste problema à acumulação de granulado em volta do sensor. Foi decidido trocar o sensor existente por um sensor rotativo, que, estando em constante rotação, impede que o granulado se deposite à sua volta. Com esta alteração realizada, não foram registadas mais paragens relativas a este problema.

4.1.3. Contaminação do granulado com água

Ainda relacionado com o granulado, a sua contaminação com água começou a tornar-se crítica devido ao aumento da precipitação durante os meses de inverno. Esta situação era particularmente preocupante, porque era necessário vazar completamente o mini silo e voltar a enchê-lo, procedimento que condicionava bastante o tempo útil de produção. Para além disto, poderiam existir micro contaminações, não visíveis a olho nu, que alterariam as propriedades do material, resultando em não conformidades.

Para solucionar este problema, foi discutido com o chefe de manutenção quais seriam os locais onde poderia haver infiltrações e chegou-se à conclusão de que existiam apenas duas opções, ou nos ciclones ou na tubagem que os precede. Posto isto, foi decidido avaliar todas as vedações existentes nos ciclones, assim como toda a extensão da tubagem. Com esta averiguação foi possível concluir que o problema residia nos ciclones, onde uma parte do isolamento estava partido, o que permitia a entrada de água. O problema foi resolvido colocando uma fita isoladora em volta de todas as fissuras existentes e, depois da reparação, não foi reportado mais nenhum evento relacionado com a contaminação do granulado com água.

No entanto, aquando da verificação da tubagem, foi detetado que os depósitos de granulado localizados noutra unidade industrial, que abastecem a linha de produção em estudo, encontravam-se a necessitar de limpeza. Para prevenir futuras contaminações, foi decidido incluir estes depósitos na lista de equipamentos a limpar no final de cada turno. Desta forma, o risco de haver contaminações por causa deste problema é minimizado.

4.1.4. Queda de óleo no *Gumix*

Conforme mencionado na descrição do processo produtivo, outro problema observado foi o aparecimento de manchas de óleo na plataforma inferior do *Gumix*. O aparecimento destas manchas coincidiu com problemas de aderência da massa no enrolador, que, em muitos casos, levava ao rompimento da banda e, conseqüentemente, à necessidade de desfazer manualmente o cilindro no enrolador, o que se traduzia em paragens produtivas constantes. Em conjunto com o engenheiro de processo, foi especulado que a fuga de óleo poderia estar relacionada com os problemas de aderência da massa, querendo isto dizer, que haveria contaminação da massa com o óleo. A confirmar-se, poderia resultar em alterações das propriedades do material e, conseqüentemente, em problemas de qualidade.

Para a resolução deste problema, foi decidido, em primeiro lugar, analisar qual a origem da queda de óleo no *Gumix* e, posteriormente, reparar o que fosse necessário.

Depois da reparação concluída, foi possível concluir que o problema de falta de aderência da massa estava relacionado com a presença de óleo, pois não foi registado mais nenhum problema neste sentido.

4.1.5. Desgaste das facas do *Gumix*

Como dito anteriormente, durante a explicação do processo produtivo, existe um conjunto de três facas no *Gumix* responsável por cortar uma banda da massa homogeneizada. Estas facas têm um elevado desgaste durante o seu uso devido à dureza de certas referências e, sempre que era necessário trocá-las, era necessário a intervenção de um técnico de manutenção, pois os operadores não possuíam as ferramentas necessárias. Quando os técnicos de manutenção estavam ocupados com outra avaria noutra linha de produção e era necessário trocar as facas, mesmo sendo esta uma tarefa rápida, existiam grandes paragens devido ao tempo de espera.

Em concordância com o chefe de manutenção e com vista a reduzir o tempo de troca de facas, foram desenvolvidos novos suportes, que possibilitam ao operador trocá-las e ajustá-las facilmente, quando necessário. Existirá sempre um conjunto de facas para troca na zona da manutenção, para que não seja necessária qualquer intervenção por parte dos técnicos de manutenção, visto que apenas existem dois técnicos por turno para toda a área industrial. A Figura 46 representa os novos suportes das facas do *Gumix*.



Figura 46 Novo mecanismo de suporte das facas do *Gumix*

Ainda relacionado com este problema, foi proposto criar um mecanismo que controlasse a pressão com que as facas encostam no cilindro do *Gumix*, com o intuito de diminuir o desgaste que sofrem durante a sua utilização. Posteriormente, seriam estabelecidos valores que serviriam de padrão para cada referência que fosse produzida. Também foi proposto a alteração do material das facas, de aço para bronze, com o objetivo de reduzir a probabilidade de danificar os rolos do *Gumix*, uma vez que o bronze é um material mais macio do que o aço.

Contudo, estas ações de melhoria ainda estava a ser avaliadas aquando da finalização do tempo do projeto, não tendo sido possível obter quaisquer resultados.

4.1.6. Dificuldade no transporte de massa do *Gumix* para os misturadores abertos

Tal como mencionado no capítulo anterior, foi constatado que o operador responsável por trabalhar no *Gumix* tinha de se deslocar bastantes vezes para auxiliar a passagem da massa, que ficava bloqueada no canto onde os dois tapetes de transporte se encontram, como é demonstrado na Figura 47.

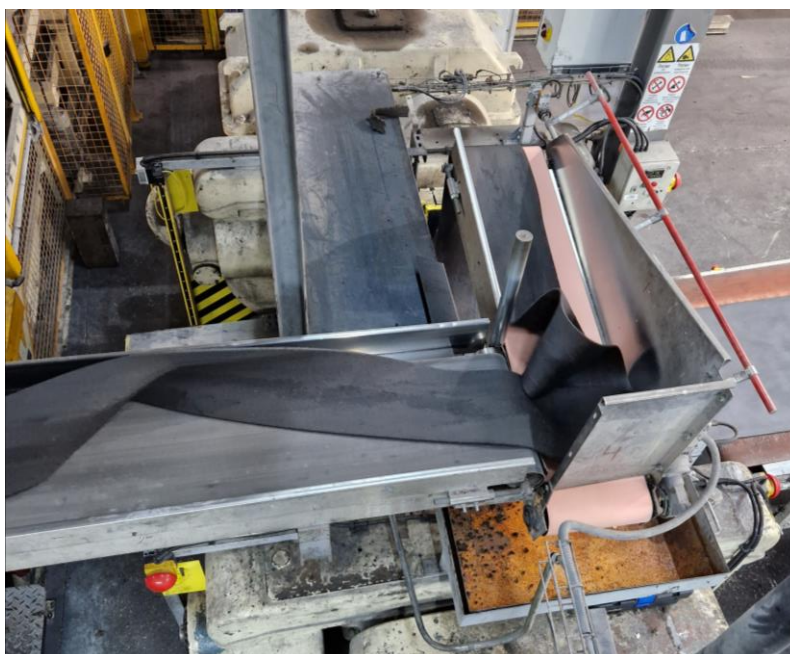


Figura 47 Zona de bloqueio do transporte de massa

Daqui advém três problemas, um relacionado com a quebra de cadência produtiva, pois se o misturador aberto não receber massa o processo para, outro que põe em causa a segurança do operador, porque tem de subir um escadote para conseguir desimpedir o tapete, fazendo-o rapidamente e sem o apoio devido, e, por fim, o abandono do posto de trabalho por parte do operador, pondo em causa o controlo da operação.

Com vista a resolver estas situações, foi testado alterar as velocidades dos tapetes de transporte de forma a aumentar a aderência entre os tapetes e a massa, tendo em consideração que a velocidade deve ser suficiente para que as cadências produtivas sejam cumpridas. Depois de várias tentativas com várias referências, foi constatado que os valores ideais para as velocidades dos tapetes são os que estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Valores definidos para as velocidades dos tapetes

Tapete	Velocidade
Tapete de saída do <i>Gumix</i>	46,5
Tapete longitudinal	46
Tapetes de saída	46,5

Estes valores, mesmo sendo ideais para a generalidade das condições de produção, podem mudar caso existam algumas variações. Posto isto, foram colocados variadores, que controlam as velocidades dos tapetes, ao lado do *Gumix*, para que, quando necessário, o operador possa alterar as velocidades para os valores que considere mais vantajosos.

Ainda com vista a melhorar esta situação, foi proposto alinhar o tapete longitudinal com o centro dos misturadores abertos. Assim, o transporte da massa seria facilitado, pois não teria esquinas que condicionassem a sua passagem. No entanto, existe um equipamento que impossibilita o reposicionamento do tapete. Este equipamento denomina-se SAFA e, em tempos, era responsável por embalar os *pigs* e transportá-los para o piso superior, onde seriam armazenados. Atualmente, está completamente inoperacional, devido a várias situações de mau funcionamento. Posto isto, o objetivo seria retirar a parte da SAFA que impede o reposicionamento do tapete, de forma a colocá-lo no local pretendido. Contudo, não foi possível realizar durante o período do estágio por questões orçamentais. A Figura 48 demonstra o espaço ocupado pela SAFA, que impossibilita a redefinição da posição do tapete.



Figura 48 Constrangimento causado pela SAFA no reposicionamento dos tapetes

4.1.7. Problemas na operação da prensa dos calandrados

Tal como abordado no capítulo anterior, a prensa dos calandrados foi referida como um grande problema, tanto pelos operadores, como pelo engenheiro de processo e chefe de manutenção. O principal motivo para o mau funcionamento deste equipamento é o sistema que retira as cavilhas das tampas dos moldes. Este sistema não funciona devidamente e, muitas vezes, ou não retira totalmente as cavilhas do molde, ou os atuadores não encaixam devidamente nos apoios das cavilhas. Quando isto acontece, existem paragens significativas para trocar a tampa, danificada por embater na cavilha. Foi observado que existe muito material acumulado em torno dos furos onde encaixam as cavilhas, o que complica ainda mais esta operação, como se pode observar na Figura 49.



Figura 49 Resíduos de massa acumulados em volta das tampas e das cavilhas dos moldes

Como solução para este problema, foi posto em prática um plano de limpeza de moldes. Neste plano existem dois momentos por ano onde os operadores limpam as tampas, moldes e cavilhas, com o objetivo de facilitar a abertura e fecho do molde. Durante a produção, também começou a ser realizada uma limpeza superficial, de forma a tentar controlar o escalar da gravidade do problema. Para além destes planos de limpeza, foram adquiridas mais seis tampas do que aquelas que são necessárias para os moldes existentes. Desta forma, sempre que as tampas em utilização forem danificadas, existem outras para substituição, não condicionando o cumprimento do objetivo de produção.

Embora o problema tenha sido atenuado, não ficou completamente resolvido. Após uma análise mais detalhada ao funcionamento do sistema que retira as cavilhas, foi concluído, juntamente com o chefe de manutenção, que o sistema em funcionamento não era o ideal e que iriam sempre existir falhas no seu comportamento, uma vez que era um sistema pneumático, não possuindo força suficiente para realizar a operação, e devido ao facto de as cavilhas serem retiradas aos pares, criando um movimento que provocava o embate da cavilha nos orifícios. A solução passa por desenvolver um novo sistema de remoção das cavilhas hidráulico e individual, que, até à data de conclusão do projeto, não foi realizado devido a questões orçamentais. A Figura 50 representa o sistema de remoção de cavilhas atual.



Figura 50 Sistema de remoção de cavilhas

4.1.8. Planos de manutenção autónoma

Como referido anteriormente, existem apenas dois técnicos de manutenção por turno para toda a área industrial. Aliando ao facto dos equipamentos dispostos ao longo da linha de produção terem uma idade avançada, o número de intervenções de manutenção corretiva e o tempo que estas demoravam era muito elevado e condicionavam a produção.

Com vista a reduzir o número de intervenções de manutenção corretiva e, também, aliviar a carga de trabalho dependente da manutenção, foram implementados planos de manutenção autónoma, em concordância com o chefe de manutenção. Os planos foram apresentados aos operadores e foi dada a formação necessária para a sua realização. Ficou decidido que em cada semana há um turno que está responsável por fazer a manutenção dos equipamentos, sendo que existe rotatividade na seleção do turno que a realiza. A Figura 51 representa um plano de manutenção autónoma de um equipamento. Os planos estão afixados junto do equipamento respetivo, para que os operadores os possam consultar sempre que necessário. Podem ainda ser observadas várias cores nas tarefas a realizar, sendo que as azuis correspondem às tarefas diárias, as verdes às tarefas semanais, as

amarelas às tarefas mensais e as vermelhas às tarefas específicas, que apenas são realizadas quando a chefia a planear.

Lab: OCM 707

PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA - Prensa calandras

AMORIM CORK COMPOSITES

Legenda de cores (Frequência):

Verde: Diária, Amarelo: Semanal, Vermelho: Mensal

Nº	Equipamento	Tipo de intervenção	Onde	Ferramenta / Material	Intervenção	Frequência	Quando fazer?	Tempo estimado
1	Prensa de calandras	Molas e tampas			Verificação de empenos	Diária	Turno operacional	1
		Moldes e tampas	Raspador e ar comp.		Limpeza das massas agarradas			1
3		Tubos	ar comp.		Limpar o interior depois de fechado o molde			1
4		Cavilhas tampas	Spay lubrificante		Lubrificar cavilhas			1
5		Fechos moldes	DOTP		Lubrificar sistema fecho molde			1
6		Grupo FRL	Hilohv 15		Verificar nível óleo e ajustar se necessário			2
7		Sensores	Plano		Verificar e limpar sensores			2
8		Manguelras			Verificação de fugas nas manguelras hidráulicas			2
9		Seguranças			Teste dos sistemas de segurança			2
10		Motores			Verificação de ruídos e fugas			1
11		Cilindros			Verificação de fugas de ar comprimido			1
12		Prensa			Verificação do aperto dos parafusos e reaperto se necessário	Semanal	Turno operacional	10
13		Prensa	Ar comp. + vassoura		Limpeza da arco de trabalho			2
14		Fosso da Prensa	Ar comp. + vassoura		Limpeza do asso da prensa	Mensal	Turno operacional	30
15		Central Hidráulica			Verificar o nível de óleo da central hidráulica			5
16		Prensa	Ar comp. + vassoura + pano		Limpeza Geral aprofundada do equipamento	Mensal	Indicação da chefia	120

Figura 51 Exemplo de um plano de manutenção autónoma

Para além disto, foi criada uma ferramenta na plataforma PowerApps onde os operadores fazem o registo de quais os equipamentos que fizeram manutenção, como demonstrado na Figura 52. Nesta ferramenta são apresentados os equipamentos presentes na linha de produção. Os operadores têm de seleccionar qual o turno que está a realizar a manutenção e qual a periodicidade que foi realizada.

Máquina	Turno	Semanal	Mensal	Específica	Observações
Banbury02	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Tapetes de transporte	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Gumix	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
MAB	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Calandra	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Manipuladores	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Guilhotina	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>
Enrolador	Turno 1	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> NOK	<input type="text" value="Inserir comentários"/>

Figura 52 Registo da manutenção autónoma em Power Apps

Os operadores deverão também preencher o campo de observações, indicando, se necessário, alguma anormalidade presente no equipamento que deva ser reparada pelos técnicos de manutenção.

Este registo servirá, futuramente, de base de dados para a criação de um PowerBI, onde será apresentada a frequência com que o plano foi cumprido, quais os turnos que estão a desempenhar melhor a sua aplicação e quais os equipamentos mais críticos e que necessitam de uma atenção mais pormenorizada. Também será gerado um e-mail com informação acerca dos equipamentos onde não foi realizada a manutenção autónoma.

4.1.9. Criação de folhas de controlo operacional

durante a realização do projeto foi observado a inexistência de registos acerca dos parâmetros dos equipamentos, como velocidades de rotação dos rolos dos misturadores, medidas de abertura de facas, pressões ou espessuras. A única fonte de informação era a experiência que muitos operadores adquiriram ao longo do tempo de trabalho, sendo, em alguns casos, imprecisa.

Com vista a criar uma documentação que compile os parâmetros dos equipamentos presentes na linha de produção e que são necessários ao seu bom funcionamento, foram criadas duas folhas de controlo operacional, uma para os calandrados e outra para os *ply ups*, onde, para cada referência, são apresentados os valores ideais para os parâmetros de cada equipamento. Os valores foram definidos com base no conhecimento dos operadores e com base na observação das mudanças de comportamento e de velocidade da massa ao longo do processo produtivo. O objetivo das folhas de controlo operacional também passa por facilitar a integração de novos operadores, pois, para além dos valores, são apresentadas observações acerca de como operar os equipamentos em determinadas condições.

Não foi possível definir todos os valores para todas as referências no tempo de realização do projeto, sendo algo que deve continuar a ser trabalhado.

Devido à política de proteção de dados da empresa, não é possível divulgar as folhas de controlo operacional.

4.1.10. Alteração da espessura do misturador aberto dos *ply ups*

Como foi abordado no capítulo anterior, aquando da explicação do processo produtivo dos *ply ups*, o misturador aberto define a espessura das folhas que serão empilhadas, cortadas e prensadas para formarem rodas. Para formar uma roda com a espessura de folha definida atualmente, é necessário empilhar cerca de 26 folhas.

Com o objetivo de reduzir o tempo de empilhamento das folhas e aumentar a velocidade de produção, começou a ser estudada a possibilidade de aumentar a espessura de saída da banda do misturador aberto. Ao aumentar a espessura da banda, a quantidade de folhas necessárias empilhar para formar uma roda seria menor, permitindo reduzir o tempo despendido nesta operação.

Contudo, não foi possível realizar testes suficientes durante o tempo de realização do projeto para otimizar esta alteração dos parâmetros de processo. No entanto, foi constatado que é possível diminuir o número de folhas empilhadas, tendo sido realizado um teste em que se reduziram quatro folhas por roda. Utilizando este cenário como exemplo, ou seja, sendo necessário empilhar vinte e duas folhas, é possível obter os resultados presentes na Tabela 17.

Tabela 17 Resultados da alteração da espessura do misturador aberto

Dimensão do cilindro	Nº de rodas	26 folhas por roda	22 folhas por roda	Diferença de folhas	Resultado
43"	7	182	154	-28	+1,27 rodas a cada 7 ou +3,24 cilindros a cada 12
49"	8	208	176	-32	+1,45 rodas a cada 8 ou +5,4 cilindros a cada 12
54"	9	234	198	-36	+1,63 rodas a cada 9 ou +7,56 cilindros a cada 12

4.2. Apresentação de resultados

Após a implementação de todas as ações de melhoria referidas em 4.1.1 a 4.1.10, foi avaliada a evolução do *output* ao longo do tempo do projeto.

Para o cálculo da média de produção, foi considerado o último mês completo de trabalho, tendo sido obtida uma média de 23,8 cilindros por turno, no caso dos calandrados, e uma média de 10,6 cilindros por turno, no caso dos *ply ups*, traduzindo-se num aumento percentual de 28,6% e num decréscimo de 6%, respetivamente.

O motivo para a obtenção destes resultados na produção de *ply ups* prende-se com o facto de, durante parte do projeto, o turno ter trabalhado com menos um operador, fazendo com que não fosse possível atingir a cadência produtiva necessária.

Através da análise dos gráficos apresentados na Figura 53, que representa a média de produção semanal, é possível verificar um aumento acentuado na produção de cilindros calandrados e uma ligeira redução na produção de cilindros *ply ups*. A linha presente nos gráficos representa a tendência da média de produção dos respectivos cilindros. Também é possível visualizar uma queda acentuada da produção na sexta semana, período a partir do qual o segundo turno, responsável pela produção de *ply ups*, ficou com menos um operador, corroborando o motivo apresentado anteriormente para justificar os resultados obtidos.

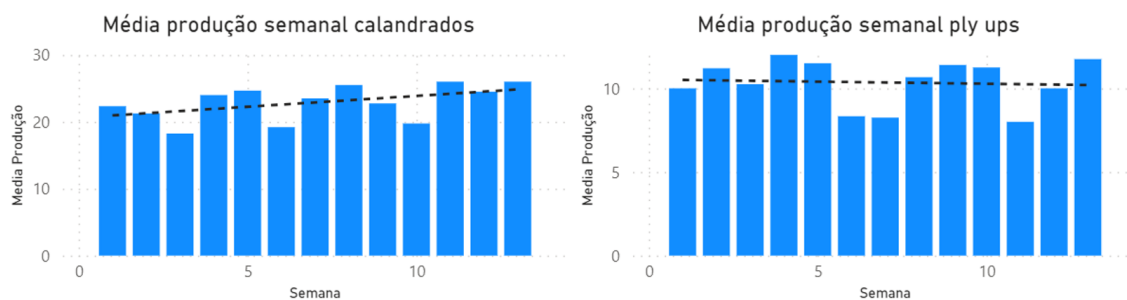


Figura 53 Média da produção semanal nos calandrados e *ply ups*

Ao analisar os gráficos da média de tempo de paragem de cada turno, representados na Figura 54, é possível observar um decréscimo em ambos os turnos de produção, sendo este o principal motivo para o aumento da produção.

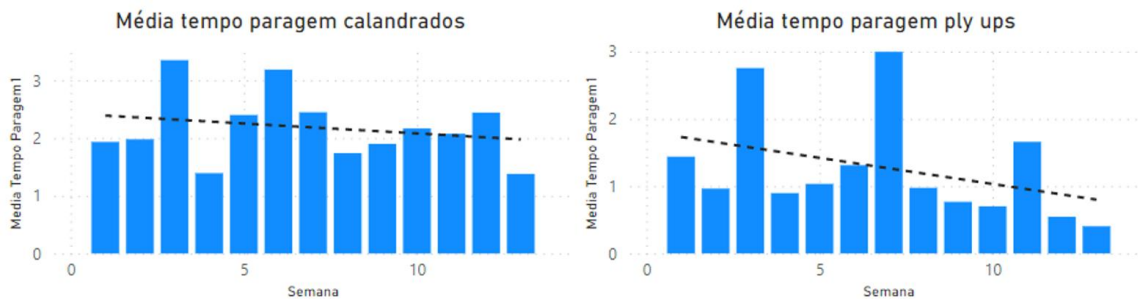


Figura 54 Média de tempo de paragem semanal nos calandrados e nos *ply ups*

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo será apresentada a conclusão deste projeto, bem como as limitações encontradas e as perspectivas de trabalhos futuros.

5.1. Conclusões finais

Neste projeto, o objetivo foi aumentar o *output* da produção de uma linha, responsável pela produção de dois tipos de cilindros de cortiça com borracha, os cilindros calandrados e os cilindros *ply ups*. Durante o período de análise do processo produtivo, foram identificados vários problemas que estavam a causar constrangimentos na produção.

Os resultados obtidos demonstram que as implementações das ações de melhoria desenvolvidas tiveram um impacto significativo no aumento do *output* dos cilindros calandrados, não se tendo verificado o mesmo nos cilindros *ply ups*.

A padronização dos processos e a adoção de técnicas *lean* também desempenharam um papel fundamental no aumento do *output*, como o TPM e a eliminação dos desperdícios *muda*, *mura* e *muri*. A implementação de indicadores de desempenho e a monitorização regular dos resultados possibilitaram uma gestão mais eficaz e permitiram identificar oportunidades de melhoria.

O envolvimento dos colaboradores também se mostrou crucial. A realização ações de formação, tanto técnicas como comportamentais, capacitou a equipa a desempenhar as suas funções de forma mais eficiente e segura. Além disso, a criação de um ambiente de trabalho participativo, no qual os colaboradores se sentiam valorizados e incentivados a contribuir com ideias e sugestões, promoveu uma cultura de melhoria contínua.

Em conclusão, os objetivos propostos para os calandrados foi cumprido, não tendo sido o mesmo verificado para os *ply ups*, uma vez que, no decorrer do projeto, ocorreram várias mudanças na equipa do segundo turno, responsável pela produção destes cilindros, tais como, mobilidades internas e a introdução de novos operadores em formação, tendo sido também verificadas baixas médicas prolongadas.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Existiram várias limitações ao longo da realização do projeto, desde a reorganização da equipa do segundo turno, até à falta de recursos financeiros para efetuar alterações mais estruturais na linha de produção.

Em relação a trabalhos futuros, sugere-se a realização de um projeto SMED, com o objetivo de tentar reduzir o tempo de *set-up* da linha de produção, sendo que, no final do projeto, este era o maior tempo de paragem verificado em ambos os turnos.

Seria também importante aumentar a polivalência da equipa, uma vez que só os operadores do primeiro turno estão habilitados para a produção de calandrados. Caso existam várias baixas simultâneas, a produção destes cilindros será bastante condicionada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Neri, E. Cagno, G. di Sebastiano, e A. Trianni, «Industrial sustainability: Modelling drivers and mechanisms with barriers», *J Clean Prod*, vol. 194, pp. 452–472, Set. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.05.140.
- [2] L. Gil, «Cork composites: A review», *Materials*, vol. 2, n. 3, pp. 776–789, 2009, doi: 10.3390/MA2030776.
- [7] A. S. Silva, C. F. Medeiros, e R. K. Vieira, «Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company», *J Clean Prod*, vol. 150, pp. 324–338, Mai. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.033.
- [8] A. Realyvásquez-Vargas, K. Arredondo-Soto, T. Carrillo-Gutiérrez, e G. Ravelo, «Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle to Reduce the Defects in the Manufacturing Industry. A Case Study», *Applied Sciences*, vol. 8, n. 11, p. 2181, Nov. 2018, doi: 10.3390/app8112181.
- [9] E. C. Jones, M. M. Parast, e S. G. Adams, «A framework for effective Six Sigma implementation», *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 21, n. 4, pp. 415–424, Abr. 2010, doi: 10.1080/14783361003606720.
- [10] M. Matsuo e J. Nakahara, «The effects of the PDCA cycle and OJT on workplace learning», *The International Journal of Human Resource Management*, vol. 24, n. 1, pp. 195–207, Jan. 2013, doi: 10.1080/09585192.2012.674961.
- [11] P. M. Patel e V. A. Deshpande, «Application Of Plan-Do-Check-Act Cycle For Quality And Productivity Improvement-A Review», 2017, [Em linha]. Available: www.ijraset.com
- [12] P. Danese, V. Manfè, e P. Romano, «A Systematic Literature Review on Recent Lean Research: State-of-the-art and Future Directions», *International Journal of Management Reviews*, vol. 20, n. 2, pp. 579–605, Abr. 2018, doi: 10.1111/ijmr.12156.
- [13] N. V. K. Jasti e R. Kodali, «A literature review of empirical research methodology in lean manufacturing», *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 34, n. 8. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 1080–1122, 2014. doi: 10.1108/IJOPM-04-2012-0169.
- [14] S. Mostafa, J. Dumrak, e H. Soltan, «Lean Maintenance Roadmap», *Procedia Manuf*, vol. 2, pp. 434–444, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.076.
- [15] B. Zhou, «Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs)», *Ann Oper Res*, vol. 241, n. 1–2, pp. 457–474, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10479-012-1177-3.
- [16] J. P. Womack, D. T. Jones, e D. Roos, *The machine that changed the world*. London: Simon & Schuster, 2007.
- [17] J. Bhamu e K. S. Sangwan, «Lean manufacturing: Literature review and research issues», *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 34, n. 7. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 876–940, 2014. doi: 10.1108/IJOPM-08-2012-0315.
- [18] P. Hines, M. Holwe, e N. Rich, «Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking», *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 24, n. 10. pp. 994–1011, 2004. doi: 10.1108/01443570410558049.
- [19] T. W. Kehr e M. D. Proctor, «People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis», *Qual Reliab Eng Int*, vol. 33, n. 4, pp. 921–930, Jun. 2017, doi: 10.1002/qre.2059.
- [20] J. K. Liker e J. M. Morgan, «The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development», *Academy of Management Perspectives*, vol. 20, n. 2, pp. 5–20, Mai. 2006, doi: 10.5465/amp.2006.20591002.

- [21] C. Maware e O. Adetunji, «Lean manufacturing implementation in Zimbabwean industries: Impact on operational performance», *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 11, p. 184797901985979, Jan. 2019, doi: 10.1177/1847979019859790.
- [22] D. Martins, L. Fonseca, P. Ávila, e J. Bastos, «Lean practices adoption in the portuguese industry», *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 14, n. 2, pp. 345–359, 2021, doi: 10.3926/jiem.3291.
- [23] F. J. G. Silva e L. Ferreira, Eds., *Lean Manufacturing: Implementation, Opportunities and Challenges*. 2019.
- [24] A. L. Bakke e A. Johansen, «Implementing of Lean – challenges and lessons learned», *Procedia Comput Sci*, vol. 164, pp. 373–380, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.12.196.
- [25] N. Kumar, S. Shahzeb Hasan, K. Srivastava, R. Akhtar, R. Kumar Yadav, e V. K. Choubey, «Lean manufacturing techniques and its implementation: A review», *Mater Today Proc*, vol. 64, pp. 1188–1192, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.481.
- [26] M. Alefari, M. Almani, e K. Salonitis, «Lean manufacturing, leadership and employees: the case of UAE SME manufacturing companies», *Prod Manuf Res*, vol. 8, n. 1, pp. 222–243, Jan. 2020, doi: 10.1080/21693277.2020.1781704.
- [27] T. H. Netland e D. J. Powell, Eds., *The Routledge Companion to Lean Management*, 1.^a ed. Routledge, 2019.
- [28] M. Pieńkowski, «Waste Measurement Techniques For Lean Companies», 2014. [Em linha]. Available: <http://blog.toyota.co.uk/muda-muri-mura-toyota-production-system>
- [29] J. Womack, «MURA, MURI, MUDA?», 2006.
- [30] S. Thanki, K. Govindan, e J. Thakkar, «An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach», *J Clean Prod*, vol. 135, pp. 284–298, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.105.
- [31] I. Belekoukias, J. A. Garza-Reyes, e V. Kumar, «The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations», *Int J Prod Res*, vol. 52, n. 18, pp. 5346–5366, Set. 2014, doi: 10.1080/00207543.2014.903348.
- [32] T. K. Agustiady e E. A. Cudney, «Total productive maintenance», *Total Quality Management and Business Excellence*, pp. 1–8, Fev. 2018, doi: 10.1080/14783363.2018.1438843.
- [33] S. Nakajima, *Introduction to Total Productive Maintenance*. Productivity Pr, 1988.
- [34] S. Prošić e M. Sc, «KAIZEN MANAGEMENT PHILOSOPHY».
- [35] A. Paul Brunet e S. New, «Kaizen in Japan: an empirical study», *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 23, n. 12, pp. 1426–1446, Dez. 2003, doi: 10.1108/01443570310506704.
- [36] J. C. Chen, Y. Li, e B. D. Shady, «From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study», *Int J Prod Res*, vol. 48, n. 4, pp. 1069–1086, Fev. 2010, doi: 10.1080/00207540802484911.
- [37] A. B. Pampanelli, P. Found, e A. M. Bernardes, «A Lean & Green Model for a production cell», *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 19–30, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.06.014.
- [38] F. Huda e D. Preston, «Kaizen: the applicability of Japanese techniques to IT», *Software Quality Journal*, vol. 1, n. 1, pp. 9–26, Mar. 1992, doi: 10.1007/BF01720166.
- [39] J. Miguel e S. Morais Margaça, «LEAN-ISO9001: ESTUDO SOBRE A VALORIZAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN Mestre em Gestão», 2013.
- [40] V. Lima, M. M. Silva, L. Fonseca, e M. Silva, «Utilization of quality tools: Does sector and size matter?», *Article in International Journal for Quality Research*, vol. 9, n. 4, pp. 605–620, 2015, [Em linha]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/287546747>
- [41] M. Jiménez, L. Romero, M. Domínguez, e M. del M. Espinosa, «5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school», *Saf Sci*, vol. 78, pp. 163–172, Out. 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.04.022.

- [42] R. Gapp, R. Fisher, e K. Kobayashi, «Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system», *Management Decision*, vol. 46, n. 4, pp. 565–579, Mai. 2008, doi: 10.1108/00251740810865067.
- [43] F. C. Filip e V. Marascu-Klein, «The 5S lean method as a tool of industrial management performances», *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 95, p. 012127, Nov. 2015, doi: 10.1088/1757-899X/95/1/012127.
- [44] O. Omogbai e K. Salonitis, «The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach», *Procedia CIRP*, vol. 60, pp. 380–385, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2017.01.057.
- [45] A. Chiarini, «Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers», *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 226–233, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.07.080.
- [46] D. van Goubergen e H. van Landeghem, «Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design», *Robot Comput Integr Manuf*, vol. 18, n. 3–4, pp. 205–214, Jun. 2002, doi: 10.1016/S0736-5845(02)00011-X.
- [47] R. Sundar, A. N. Balaji, e R. M. S. Kumar, «A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques», *Procedia Eng*, vol. 97, pp. 1875–1885, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.341.
- [48] J. Díaz-Reza, J. García-Alcaraz, V. Martínez-Loya, J. Blanco-Fernández, E. Jiménez-Macías, e L. Avelar-Sosa, «The Effect of SMED on Benefits Gained in Maquiladora Industry», *Sustainability*, vol. 8, n. 12, p. 1237, Nov. 2016, doi: 10.3390/su8121237.
- [49] K. Ishikawa, «What is total quality control : The Japanese way .», *New York*, 1981.
- [50] M. F. Suárez-Barraza e F. G. Rodríguez-González, «Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them?: A first research approach», *International Journal of Quality and Service Sciences*, vol. 11, n. 2, pp. 302–316, Jun. 2019, doi: 10.1108/IJQSS-12-2017-0113.
- [51] L. Liliana, «A new model of Ishikawa diagram for quality assessment», *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 161, p. 012099, Nov. 2016, doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012099.
- [52] R. Gnanaguru, K. Puvaneswari, J. Mallick, C. Jegadheesan, V. M. Sivakumar, e S. R. Devadasan, «Mechanical Engineering from Madras University, India in 1996. He pursued his ME in Computer Aided Design from the Anna University», 2011.
- [53] C. Jimmerson, D. Weber, e D. K. Sobek, «Reducing Waste and Errors: Piloting Lean Principles at Intermountain Healthcare», *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, vol. 31, n. 5, pp. 249–257, Mai. 2005, doi: 10.1016/S1553-7250(05)31032-4.
- [54] D. K. Sobek e C. Jimmerson, «A3 Reports: Tool for Process Improvement».
- [55] I. C. Braga, F. da S. Brandão, F. R. C. Ribeiro, e A. G. Diógenes, «Application of GUT Matrix in the assessment of pathological manifestations in heritage constructions», *Revista ALCONPAT*, vol. 9, n. 3, pp. 320–335, Ago. 2019, doi: 10.21041/ra.v9i3.400.
- [56] J. A. Villas Boas Mello, B. Guimarães Jorge Pinto, e A. J. Ribeiro Mello, «SWOT analysis and GUT matrix for business management and problem solving: an application in a Brazilian case-study», *Cuadernos de Gestión*, vol. 22, n. 1, pp. 81–93, Fev. 2022, doi: 10.5295/cdg.211472jv.
- [57] M. Meireles, *Ferramentas Administrativas para identificar, observar e analisar problemas*. Editora Arte & Ciência, 2001.
- [58] Cleginaldo Pereira de Carvalho e Caroline Ferreira de Castro, «Application of a tool based on the GUT matrix for the improvement of quality Indicators in the automotive industry», *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, vol. 1, n. 1, pp. 037–043, Nov. 2020, doi: 10.30574/wjaets.2020.1.1.0022.
- [59] E. Grigoroudis, E. Orfanoudaki, e C. Zopounidis, «Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard», *Omega (Westport)*, vol. 40, n. 1, pp. 104–119, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.omega.2011.04.001.

- [60] Md. A. Moktadir *et al.*, «An investigation of key performance indicators for operational excellence towards sustainability in the leather products industry», *Bus Strategy Environ*, vol. 29, n. 8, pp. 3331–3351, Dez. 2020, doi: 10.1002/bse.2575.
- [61] I. Hristov e A. Chirico, «The Role of Sustainability Key Performance Indicators (KPIs) in Implementing Sustainable Strategies», *Sustainability*, vol. 11, n. 20, p. 5742, Out. 2019, doi: 10.3390/su11205742.
- [62] A. de Toni e S. Tonchia, «Performance measurement systems - Models, characteristics and measures», *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 21, n. 1/2, pp. 46–71, Jan. 2001, doi: 10.1108/01443570110358459.