



MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LEAN TOOLS NO CICLO DMAIC NUMA EMPRESA ?ENGINEER TO ORDER?

JOSÉ MIGUEL PONTES TEIXEIRA

outubro de 2021

MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LEAN TOOLS NO CICLO DMAIC NUMA EMPRESA “ENGINEER TO ORDER”

José Miguel Pontes Teixeira

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LEAN TOOLS NO CICLO DMAIC NUMA EMPRESA “ENGINEER TO ORDER”

José Miguel Pontes Teixeira

Estudante n.º 1160857

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do professor Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá e coorientação do professor Doutor Manuel Pereira Lopes.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Para realizar este trabalho, foi essencial o contributo de algumas pessoas, às quais devo um profundo agradecimento.

À empresa que me proporcionou a fantástica oportunidade de aplicar os métodos apresentados, Körber Supply Chain, em especial ao orientador de estágio, Engenheiro Francisco Batista, pelo apoio constante, bem como a todos os membros da equipa de gestão de produção pela participação nos projetos desenvolvidos e confiança depositada. Também aos operadores mecânicos pela cooperação nos projetos desenvolvidos.

Ao orientador do ISEP, professor Mestre / Especialista José Carlos Sá, pelo acompanhamento e pelos conselhos dados ao longo do projeto, e ao professor Doutor Manuel Pereira Lopes pelo contributo e disponibilidade.

Aos meus colegas de mestrado e de estágio, pelo apoio em todas as horas.

A toda a minha família, pela constante preocupação e por serem o meu apoio em todos os momentos, pela motivação dada ao deste período, fazendo tudo ao seu alcance para dar um contributo positivo, em especial aos meus pais e à minha irmã.

página propositadamente em branco

RESUMO

Atingir uma posição de vantagem competitiva no meio industrial é apenas atingível aos que têm capacidade de se reinventar, evoluindo continuamente. Durante o processo, os desperdícios identificados devem ser combatidos através de novas fórmulas que garantam resultados. O Lean Seis Sigma consiste na comunhão dos pontos fortes de cada uma das filosofias: Lean e Seis Sigma. Esta estratégia foi explorada para compreender de que forma é que a complementaridade das duas filosofias é benéfica para uma organização e analisar os resultados obtidos na aplicação prática.

A implementação desta filosofia, ao longo deste trabalho, é estruturada pela metodologia DMAIC, na qual são integradas ferramentas ou métodos Lean Seis Sigma em cada uma das cinco fases de abordagem ao problema. Para isso, em primeiro lugar, seguindo a metodologia de investigação *Action-Research*, é feita uma pesquisa alongada da filosofia e respetivos casos de aplicação, e de quais as ferramentas Lean Seis Sigmas adequadas para cada uma das fases do DMAIC. Com base nesta investigação, a metodologia é aplicada em contexto industrial, garantindo que as ações de melhoria de desempenho das organizações são aplicadas de forma fundamentada, recorrendo a dados reais para definir o problema, medir os seus indicadores, analisar as causas raiz, implementar alterações de processo e monitorizar ao longo do tempo.

Esta filosofia foi aplicada em três casos de estudo numa organização *Engineer to order* - uma abordagem produtiva na qual a criação e produção de um produto é iniciada apenas após a encomenda do cliente: O primeiro caso de estudo procura otimizar a gestão de matéria-prima num processo de corte, no qual é desenvolvido um modelo em programação linear que garante que a quantidade de material é minimizada em cada projeto, bem como automatizar e melhorar alguns processos que contribuem também para um maior aproveitamento deste recurso. Com isto, as sobras de corte são reduzidas em 63,8%. No segundo projeto, o fluxo dos desenhos técnicos até serem fornecidos aos operadores para consulta foi redefinido com recurso à ferramenta Lean *Value Stream Mapping*, de forma a reduzir os desperdícios neste processo. Os desenhos passam a ser consultados de forma predominantemente digital, o que, para além de ser uma solução mais sustentável do ponto de vista económico e ambiental, resulta em *lead times* menores e melhora o fluxo de informação entre departamentos. O terceiro projeto está relacionado com quebras no fluxo de trabalho para procura de materiais, no qual se pretende introduzir melhorias ao fluxo de informação e materiais. Para isso, são implementadas as ferramentas gestão visual e 5S: A primeira é implementada para o operador ter conhecimento de quais os artigos que, por atraso, não foram ainda rececionados, o que irá ajudar o seu sequenciamento de trabalho. A ferramenta 5S promove mais organização e critério no abastecimento de materiais à estação de trabalho, o que resulta na redução da duração das interrupções no trabalho para encontrar o artigo pretendido em 62%.

A filosofia Lean Seis Sigma revela-se eficaz para implementar as ações de melhoria de forma mais metódica e rigorosa. Em todos os projetos, a aplicação do DMAIC com a integração de ferramentas Lean teve um impacto positivo na redução dos desperdícios identificados. Estas ações contribuíram para a eficiência dos processos, nomeadamente a nível de poupança de recursos financeiros e materiais, redução de *lead times* e aumento de produtividade e de condições de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Seis Sigma, Ferramentas *Lean*, DMAIC, *Engineer to Order*, Programação linear

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Achieving a position of competitive advantage in the industrial environment is only achievable to those who can reinvent their processes to constantly evolve. During the process, the identified waste must be combated, using new formulas that guarantee results. Lean Six Sigma consists in the communion of the strengths of each of the philosophies: Lean and Six Sigma. This strategy was explored to understand how the complementarity of these two philosophies is beneficial for an organization and to analyze the results obtained in the practical application.

The implementation of this philosophy, throughout this work, is structured by the DMAIC methodology, in which Lean Six Sigma tools or methods are integrated in each of the five phases of approaching the problem. For this, first, following the Action-Research research methodology, extended research is carried out on the philosophy and respective application cases, and on which Lean Six Sigma tools are suitable for each of the DMAIC phases. Based on this research, the methodology is applied in an industrial context, ensuring that organizations' performance improvement actions are applied in a reasoned manner, using real data to define the problem, measure its indicators, analyze root causes, implement changes process and monitor over time.

This philosophy was applied in three case studies in an Engineer to order organization - a productive approach in which the creation and production of a product is only initiated after the customer's order: The first case study seeks to optimize the management of raw materials in a cutting process, in which a linear programming model is developed to ensure that the amount of material is minimized in each project, as well as automating and improving some processes that also contribute to a greater use of this resource. With this, cutting losses are reduced by 63.8%. In the second project, the flow of technical drawings until they are provided to operators for consultation was redefined using the Lean tool Value Stream Mapping, in order to reduce waste in this process. Drawings are now consulted predominantly digitally, which, in addition to being a more sustainable solution from an economic and environmental point of view, results in shorter lead times and improves the flow of information between departments. The third project is related to breaks in the workflow for searching for materials, in which it is intended to introduce improvements to the flow of information and materials. For this, visual and 5S management tools are implemented: The first is implemented so that the operator is aware of which materials, due to delay, have not yet been received, which will help his work sequencing. The 5S tool promotes more organization and discretion in the supply of materials to the workstation, which results in a 62% reduction in the duration of work interruptions to find the desired item.

The Lean Six Sigma philosophy proves to be effective in implementing improvement actions in a more methodical and rigorous way. In all projects, the application of DMAIC with the integration of Lean tools had a positive impact on the reduction of identified waste. These actions contributed to the efficiency of the processes, namely in terms of saving financial and material resources, reducing lead times, and increasing productivity and working conditions.

KEYWORDS

Lean Six Sigma, Lean Tools, DMAIC, Engineer to Order, Linear Programming

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e pertinência	1
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	2
1.3. Opções metodológicas	2
1.4. Apresentação da empresa.....	3
1.5. Estrutura do trabalho	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Lean	8
2.1.1. Filosofia Lean.....	8
2.1.2. Desperdícios Lean	9
2.2. Seis Sigma	11
2.2.1. Filosofia Seis Sigma	11
2.2.2. Metodologia DMAIC.....	11
2.3. Lean Seis Sigma	12
2.3.1. Filosofia Lean Seis Sigma.....	12
2.3.2. Ferramentas Lean Seis Sigma.....	14
2.4. Redução de desperdício através do uso de Programação Linear	18
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	21
3.1. Operação de corte de matéria-prima para a produção de longarinas.....	22
3.1.1. Modelo matemático para o problema de corte unidimensional de matéria-prima para a produção de longarinas.....	31
3.2. Consulta de desenhos técnicos	33
3.3. Logística Interna	40
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	51
4.1. Discussão de resultados da metodologia aplicada.....	51
4.2. Análise individual dos projetos	52
5. CONCLUSÃO	55
5.1. Conclusões finais	55
5.2. Limitações e investigação futura.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A	63

APÊNDICE B	67
APÊNDICE C	68
APÊNDICE D	69
APÊNDICE E	70
APÊNDICE F.....	71
APÊNDICE G.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Körber Supply Chain	3
Figura 2 - Transelevador monomastro	5
Figura 3 - Representação esquemática da seleção de artigos científicos	7
Figura 4 - Distribuição dos artigos científicos por ano de lançamento	8
Figura 5 - Oito tipos de desperdício Lean (Angie Lin Boyer, 2018)	9
Figura 6 - Lean Seis Sigma (Snee, 2010)	13
Figura 7 - Representação esquemática da fusão das filosofias Lean e Seis Sigma	13
Figura 8 - <i>Value Stream Mapping</i> : Exemplo (Olofsson, 2012)	18
Figura 9 - Mapa de fluxo de produção	21
Figura 10 - Transportador de rolos (à esquerda) e transportador de correntes (à direita).....	22
Figura 11 - Defeitos nas extremidades dos perfis de alumínio	23
Figura 12 - SIPOC aplicado à produção de longarinas.....	24
Figura 13 - Esquema de corte: Cálculo inicial.....	25
Figura 14 - Diagrama causa-efeito para análise ao desperdício de matéria-prima no corte de longarinas.....	26
Figura 15 - <i>Cutting Optimizer 1D</i> : Cálculo otimizado da quantidade de matéria-prima	27
Figura 16 - <i>Cutting Optimizer 1D</i> : Registo de corte.....	27
Figura 17 - <i>Cutting Optimizer 1D</i> : Reutilização de matéria-prima	28
Figura 18 - <i>Cutting Optimizer 1D</i> : Apresentação do esquema de corte	29
Figura 19 - Desperdício no corte de material para a produção de longarinas: Antes e depois da otimização do processo	31
Figura 20 - <i>Value Stream Mapping</i> geral.....	34
Figura 21 - <i>Value Stream Mapping</i> da preparação de desenhos técnicos - estado inicial	34
Figura 22 - Acumulação de desenhos técnicos em papel	35
Figura 23 - Estudo de movimentos para disponibilização de desenhos técnicos aos operadores..	36
Figura 24 - Diagrama de fluxo para digitalização da disponibilização de desenhos técnicos aos operadores.....	37
Figura 25 - Estruturação de desenhos por níveis de subconjuntos	38
Figura 26 - Consulta digital de desenhos técnicos	38
Figura 27 - <i>Value Stream Mapping</i> do fluxo de desenhos técnicos - estado final	39
Figura 28- Tempo de preparação de desenhos técnicos, antes e depois da digitalização do processo	40
Figura 29 - Diagrama causa-efeito: Atrasos na entrega.....	41
Figura 30 - Tempos de paragem para procura de material: Estado inicial	42
Figura 31 - Ferramenta para consulta de datas de chegada de materiais.....	43
Figura 32 - Abastecimento de material às estações de trabalho: Estado inicial.....	45
Figura 33 - Implementação da ferramenta 5S nos carros kit de montagem	46
Figura 34 - Identificação de equipamentos com sinalização de artigos em falta	47
Figura 35 - Quadro <i>Kamishibai</i>	48
Figura 36 - Tempos de paragem para procura de material por conjunto mecânico: Antes e depois da melhoria	49
Figura 37 - Tempo total de paragem para procura de material: Antes e depois da melhoria	49

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Ferramentas e técnicas Lean Seis Sigma aplicadas no DMAIC.....	14
Tabela 2 - Conjunto de ferramentas aplicadas no problema do desperdício de matéria-prima no fabrico de longarinas.....	22
Tabela 3 - Conjunto de ferramentas aplicadas no problema da consulta de desenhos técnicos....	33
Tabela 4 - Oito tipos de desperdício Lean.....	35
Tabela 5 - Conjunto de ferramentas aplicadas para a implementação de melhorias no departamento de logística interna.....	40
Tabela 6 - Etapas da ferramenta 5S aplicadas ao abastecimento de materiais às estações de trabalho	46

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1	25
Equação 2	25
Equação 3	30
Equação 4	30
Equação 5	30
Equação 6	30
Equação 7	32
Equação 8	32
Equação 9	33
Equação 10	33
Equação 11	33
Equação 12	33
Equação 13	48

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

1D	Uma dimensão
3 M's	<i>Muda, Muri, Mura</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
CCV	<i>Chain Conveyor</i>
C&A	<i>Complete & Accurate</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LT	<i>Lead Time</i>
PDM	<i>Product Data Management</i>
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PT	<i>Process time</i>
RCV	<i>Roller Conveyor</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Lista de Símbolos

%	percentagem		
<i>l</i>	comprimento, distância	<i>mm</i>	<i>m</i>
<i>m</i>	massa	<i>kg</i>	
<i>t</i>	tempo	<i>s</i>	<i>min</i>

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho inicia-se com a apresentação de alguns aspetos importantes para a compreensão do mesmo e do seu contexto. Em primeiro lugar, é feito um enquadramento e pertinência do trabalho, onde a importância da sua realização é destacada. Depois, a questão e objetivos de investigação que motivaram a realização do mesmo. De seguida, são enumeradas as opções metodológicas para o desenvolvimento da investigação e, finalmente, é apresentada a estrutura seguida na realização do trabalho.

1.1. Enquadramento e pertinência

Engineer to order é uma abordagem produtiva que permite dar resposta à cada vez maior exigência do mercado, facultando às organizações uma grande capacidade de adaptação dos seus produtos às necessidades individuais do cliente. Para obter este grau de customização, cada produto é concebido e produzido após a compra do cliente ser confirmada. Assim, esta é uma estratégia que requer profissionais bem qualificados, visto que a produção é caracterizada por não ser repetitiva (produção em pequenos volumes) e altamente variável entre projetos. Estas organizações enfrentam diversos obstáculos relacionados com o nivelamento de produção, por estarem dependentes de ordens de compra para começar a produzir, e incerteza causada pela variabilidade entre projetos ao nível de engenharia, compras de materiais e processos de fabrico. Logo, a existência de tempos não produtivos, retrabalhos e redefinições de prazos não é algo raro de ocorrer numa empresa com estas características (Kjersem et al., 2015; Powell et al., 2014).

Estas dificuldades, juntamente com as tendências que tornam o mercado mais exigente (maior exigência de qualidade dos produtos a custos mais baixos, globalização e competitividade do mercado) requerem métodos mais eficazes, impulsionados por filosofias apropriadas. A aplicação da filosofia Lean Seis Sigma numa organização é uma solução que tem vindo a ganhar força. Esta permite privilegiar o pensamento estratégico, foco constante na melhoria e saber identificar as causas na origem dos problemas, de modo a agir na direção certa e sustentar os ganhos destas iniciativas (Antony et al., 2017).

O Lean Seis Sigma é a junção de, por um lado, uma filosofia disciplinada que identifica as origens das variações de resultados e elimina-as, de forma a criar mais valor para o cliente, estruturada pelo DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) e provida de ferramentas de análise importantes para a implementação de uma melhoria, como histogramas, diagramas de Pareto, entre outras (Fursule et al., 2012). Por outro lado, um conjunto de técnicas que procuram otimizar o fluxo de produtos, tornando as organizações mais competitivas e sustentáveis através da redução de tempo de ciclo, inventários e simplificação de processos (Aguzzoul & Nyongue, 2012). A integração destas duas filosofias é feita através do uso da metodologia pertencente ao Seis Sigma DMAIC, servindo como estrutura para a aplicação de melhoria contínua. Esta metodologia permite identificar oportunidades de melhoria e soluções para os problemas com base em dados reais, de forma a atuar na implementação das melhorias com base num procedimento mais formal e sustentado (Tenera & Pinto, 2014).

Este trabalho é realizado em plena época pandémica, dada a presença do vírus COVID-19. Este novo contexto mundial desafia o ser humano a reinventar-se, nomeadamente através do uso mais

regular da tecnologia para situações que até então pouco era usada. Nesse sentido, a tendência para aprimorar as competências digitais é também rentabilizada pela indústria, o que facilita a aplicação de algumas ferramentas neste trabalho apresentadas.

1.2. Questão e objetivos de investigação

Feito o enquadramento do presente trabalho, são apresentadas agora as questões que motivam a investigação realizada: “Quais são as suas vantagens do Lean Seis Sigma comparativamente à aplicação das filosofias separadamente?” e “De que forma o DMAIC pode ser utilizado para reduzir desperdícios num sistema produtivo?”.

Para responder às questões levantadas, o objetivo geral definido é avaliar os ganhos provenientes da aplicação da filosofia Lean Seis Sigma numa empresa *Engineer to Order*. São ainda definidos objetivos individuais para os três projetos desenvolvidos neste trabalho:

- Criar um mecanismo de gestão de matéria-prima ajustado às características do processo de corte para produção de longarinas, minimizando o desperdício;
- Simplificar e reduzir os desperdícios do processo de disponibilização de desenhos técnicos aos operadores de montagem;
- Fornecer aos operadores condições que promovam um fluxo de trabalho contínuo através da melhoria da acessibilidade aos materiais de montagem, de forma a tornar os *lead times* produção mais competitivos e evitar atrasos na expedição dos produtos.

1.3. Opções metodológicas

A metodologia de investigação seguida neste trabalho é *Action-Research*. Considera-se que esta metodologia é a que melhor se enquadra no mesmo, graças o ênfase que é dado à componente prática – a ação. Desta forma, a investigação levada a cabo é aplicada e continuamente avaliada consoante os resultados adquiridos em contexto real (Walter, 2009).

A aplicação da metodologia *Action-Research*, segundo Kemmis (2006) consiste na repetição de um conjunto de ações (planeamento de uma mudança, atuação e observação das consequências, reflexão) aplicadas ao longo do tempo até serem atingidas as conclusões propostas. Este ciclo é seguido ao longo do desenvolvimento dos três projetos apresentados neste trabalho.

A escolha deste método deve-se também ao envolvimento dos operadores na investigação, que foram ativos no levantamento de necessidades individuais e coletivas, e permitiram adaptar adequadamente o trabalho de investigação com as necessidades reais da empresa objeto de estudo. Wadsworth (1998) defende que este envolvimento da comunidade interessada, em contraste com outros métodos mais convencionais, previne consequências como desorientação relativamente ao propósito do estudo realizado, recolha de dados desadequada face ao objetivo proposto, entre outros. Na metodologia *Action-Research*, não existe distanciamento entre investigadores e praticantes. Estes representam uma parte integrante da investigação, por isso não são tratados como dados (Robson, 2016).

1.4. Apresentação da empresa

Este projeto de dissertação é desenvolvido na Körber Supply Chain, que se dedica ao desenvolvimento e produção de sistemas automatizados de armazenamento e distribuição de produtos, aumentando consideravelmente a rapidez e eficiência do transporte de produtos dentro de um armazém logístico. Apresenta um portfolio diverso de equipamentos, que abrange várias alternativas para todo o percurso de um conjunto de produtos (por norma transportados em paletes), desde o momento da chegada ao armazém, passando pela sua armazenagem em estantes, até ao momento de expedição para o cliente. Para além do desenvolvimento e montagem dos equipamentos, é também integrado o sistema de *software* de controlo dos mesmos e a implementação e manutenção do sistema no cliente.

A empresa, localizada na Zona Industrial da cidade da Maia, conta com 38 anos de experiência, sendo que foi, até 2015, parte do grupo EFACEC. Posteriormente torna-se membro de um grupo de origem alemã com mais de 10.000 trabalhadores, Körber AG, que se dedica à produção de equipamentos industriais para vários setores. A vertente *Supply Chain* é sediada em Portugal e encontra-se presente em 19 países. Esta é uma empresa que investe fortemente no combate contra desperdícios e em busca da otimização de processos, através da aplicação de *Daily Kaizens*, *Gemba Walks*, entre outras práticas. Na Figura 1 encontra-se uma fotografia das instalações da empresa.



Figura 1 - Körber Supply Chain

Os clientes são tipicamente empresas em fase de expansão, cuja cadeia de abastecimento apresente deficiências que justifiquem a implementação de um sistema automatizado, seja num novo armazém logístico ou no seu já existente. Desta forma, o investimento nesta área visa aumentar a rentabilidade do espaço logístico e minimizar os tempos de transporte de produtos. Cada cliente apresenta sistemas produtivos com características únicas, como o espaço, os processos, o fluxo de produtos e outros requisitos, portanto a solução desenvolvida pela Körber Supply Chain é também única. Por essa razão, esta é uma empresa *Engineer to Order*.

As empresas *Engineer to Order* têm a flexibilidade e a inovação como principais atributos. Na Körber Supply Chain, as propostas de novos clientes, tratadas como projetos, são estudadas individualmente de modo a desenvolver uma solução customizada que vá ao encontro das suas exigências únicas. Assim, a equipa de montagem não inicia o trabalho sem o departamento da engenharia ter lançado os desenhos técnicos e respetivas BOM para possibilitar a compra dos materiais específicos para o projeto. Numa primeira fase, é desenhado o *layout* do armazém do cliente, constituído pelo conjunto de produtos desenvolvidos pela Körber Supply Chain. Depois, os equipamentos previstos no *layout* serão desenvolvidos no departamento de engenharia, de forma

a ir ao encontro às necessidades do cliente. A exclusividade dos equipamentos estende-se naturalmente ao processo de montagem dos mesmos, realizada pelas equipas de montagem mecânica e instalação elétrica. Devido a este nível de personalização para cada cliente, não é possível produzir equipamentos para *stock*, sem um cliente definido.

São muitos os equipamentos desenvolvidos pela Körber Supply Chain, entre os quais os *Stacker Cranes*, *Conveyors*, *Automatic Guided Vehicle (AGV's)*, *Rail Guided Vehicle (RGV's)*, entre outros. O catálogo de produtos é diversificado e flexível. Os equipamentos diferenciam-se entre si, entre outras características, pela distância a percorrer, pelo número de paletes que conseguem transportar em simultâneo e pela carga máxima da paleta. A capacidade de adaptação às necessidades do cliente verifica-se pelas diferentes características que cada uns dos equipamentos referidos podem apresentar. A título de exemplo, um *Stacker Crane* pode ter entre 13 e 45 m de altura, transportar entre uma e quatro paletes em simultâneo, com uma carga máxima entre 300 e 10 000 kg. Esta realidade leva a que, à partida, não seja fácil implementar um procedimento *standard* para a montagem de conjuntos, uma vez que esta diversidade em cada equipamento faz com que sejam usados materiais também diferentes.

A empresa apresenta-se como um importante fabricante de *Stacker Crane* (ou transelevadores) no panorama mundial. Estes equipamentos fazem o abastecimento e recolha dos materiais nas estantes de armazenamento. Como tal, estão providos de capacidade de movimento de translação, sobre um carril, para abranger a estante em toda a sua largura, e elevação, para o nivelamento da altura correta para entrega ou recolha da paleta. Ao nível da montagem mecânica, estes equipamentos estão divididos em três grandes conjuntos:

- A base, que suporta toda a restante estrutura do equipamento e onde se encontra o mecanismo de translação para o movimento do *Stacker Crane* longo do carril;
- A plataforma, elemento que se desloca verticalmente até à altura alinhada com a carga por transportar, movimenta a paleta até si através de uns garfos, verifica o seu posicionamento e peso e inicia o movimento;
- A coluna, elemento que guia o movimento vertical da plataforma, e suporta o motor de elevação da mesma, bem como o topo do mastro, onde se encontram as polias do sistema de cordas;

Finalizada a montagem destes conjuntos individualmente, dá-se início à montagem final (ligação da base, plataforma e coluna), e respetiva instalação elétrica, dando origem ao produto final. Na Figura 2 é apresentado um *Stacker Crane* monomastro (apenas uma coluna), com os três conjuntos enumerados devidamente identificados:

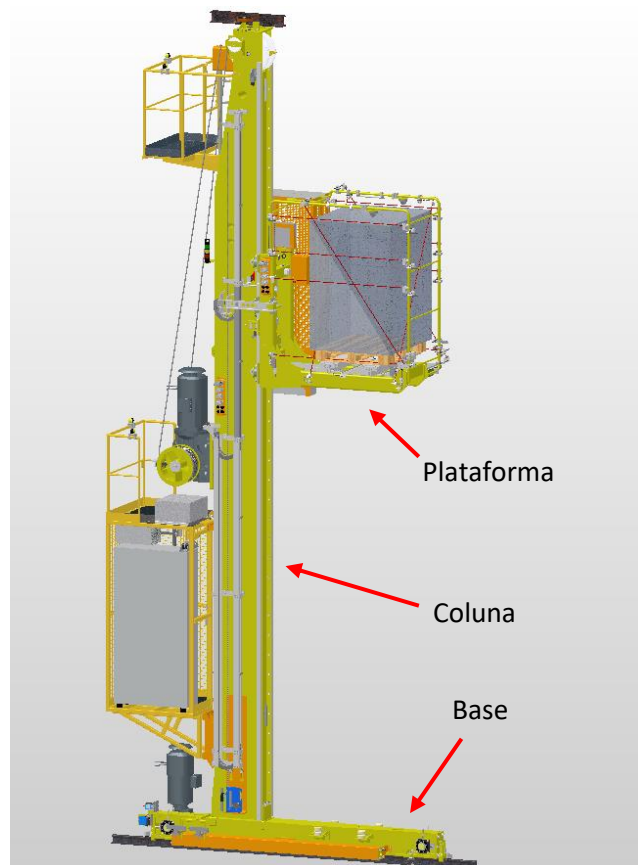


Figura 2 - Transelevador monomastro

Outros equipamentos com uma elevada importância para a Körber Supply Chain são os *conveyors*, equipamentos produzidos em maior quantidade na empresa. Os *conveyors* são mesas que transportam a carga ao longo do armazém logístico, entre dois outros tipos de equipamento (Elevadores, *Stacker Cranes*, *Shuttle Car*, RGVs, etc). Existem dois tipos de *conveyors*: de correntes – *Chain Conveyors* (CCV) - ou rolos - *Roll Conveyors* (RCV). As dimensões dos *conveyors* variam consoante o *layout* idealizado para o armazém logístico do cliente e o tipo de produto a ser transportado. O seu comprimento varia entre 1 e 4 m e a largura depende se o produto é transportado em paletes ou de outra forma não *standard*. Por vezes, o formato irregular do produto origina a que o número de longarinas (perfis de alumínio que suportam os rolos ou correntes) possa ser três ou quatro, em vez das mais comuns duas longarinas. Também neste aspeto existe, portanto, flexibilidade por parte do departamento da engenharia, para ajustar os equipamentos produzidos às características do produto transportado.

O fluxo da maioria dos materiais passa por três fases espacialmente diferenciadas: Inicialmente, são entregues pelo fornecedor e armazenados num armazém logístico; de seguida, quando a data de início de montagem do equipamento se aproxima, os materiais são enviados para a fábrica, situada noutro local, onde as equipas mecânica e elétrica montam os equipamentos. Por fim, os equipamentos já montados são transportados até um terceiro espaço, onde aguardam pelo transporte final até ao cliente.

1.5. Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho está organizada em cinco capítulos:

- Capítulo 1: Introdução. O primeiro capítulo inicia-se com um enquadramento de todo o trabalho realizado. Segue-se a apresentação da questão de investigação que motivou a sua realização, bem como os objetivos definidos. Depois, é apresentada a metodologia de investigação seguida e, por fim, é feita uma breve apresentação da empresa e de alguns dos seus produtos.
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica. Neste capítulo será apresentada a pesquisa bibliográfica realizada a fim construir uma base teórica para fundamentar os temas retratados no seguinte capítulo.
- Capítulo 3: Métodos e aplicação. No terceiro capítulo, inicialmente será fornecida uma visão global de todo o fluxo da empresa Körber Supply Chain, e localizadas as três áreas nas quais o ciclo DMAIC será aplicado. Posteriormente, os três projetos serão desenvolvidos, com a aplicação de ferramentas Lean Seis Sigma integradas com as cinco fases do DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Conforme explicado nesse capítulo, os resultados irão ser apresentados na última fase desta metodologia – *Control*.
- Capítulo 4: Discussão de resultados. Nesta fase, os resultados dos três projetos obtidos na última fase da metodologia DMAIC são analisados, de onde são retiradas conclusões à cerca da sua relevância. Será discutida também a importância da aplicação desta metodologia em cada um dos projetos, bem como o que o trabalho acrescenta à comunidade científica.
- Capítulo 5: Conclusões. Nesta fase, as conclusões que se podem retirar com a aplicação desta metodologia em contexto empresarial são apresentadas, bem como limitações encontradas e propostas para trabalho futuro.
- Capítulo 6: Referências bibliográficas. Aqui é apresentada a bibliografia seguida para sustentar o trabalho realizado, bem como outras fontes de informação.
- Capítulo 7: Apêndices. Por fim, encontram-se nestes capítulos todos os documentos realizados pelo autor deste trabalho ao longo da aplicação da metodologia na empresa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo realiza-se a revisão da literatura referente aos temas abordados na presente dissertação. Em primeiro lugar, são revistos conteúdos à cerca do Lean e do tipo de desperdícios categorizados por esta filosofia. De seguida, o Seis Sigma é abordado, com especial foco no DMAIC – metodologia de resolução de problemas do Seis Sigma que sustenta o desenvolvimento deste trabalho. Segue-se a filosofia Lean Seis Sigma e vantagens da sua aplicação, e são apresentadas as ferramentas Lean Seis Sigma aplicadas do longo deste trabalho. Finalmente, é feita a revisão bibliográfica à cerca da aplicação de programação linear para combater desperdícios nas organizações, método que será aplicado no primeiro dos três casos de estudo desenvolvido no capítulo de métodos e aplicação.

Para realizar a revisão bibliográfica levada a cabo neste trabalho, são pré-selecionados 173 artigos científicos, 62 dos quais foram incluídos na revisão bibliográfica. Na Figura 3 é apresentado um fluxograma de seleção de artigos científicos, que apresenta estes dados em maior detalhe.

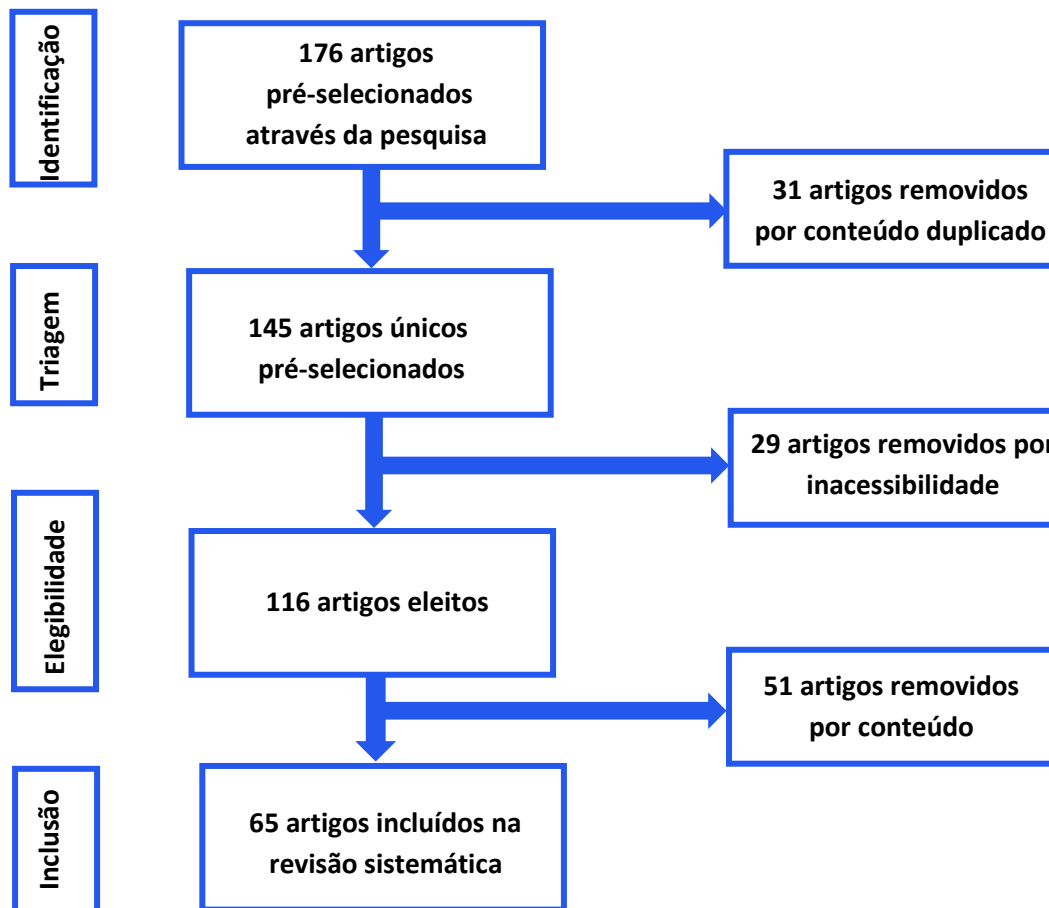


Figura 3 - Representação esquemática da seleção de artigos científicos

Na Figura 4 é apresentado um gráfico de barras que sumaria o ano de lançamento dos artigos científicos selecionados para fundamentar o presente trabalho.

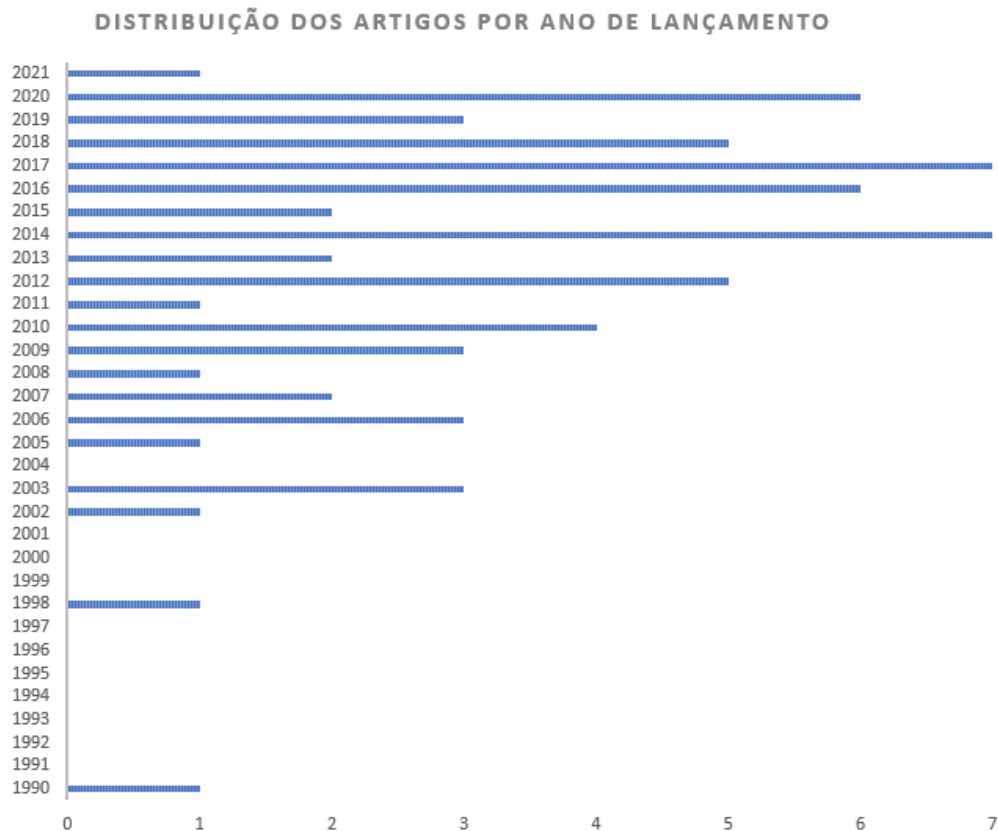


Figura 4 - Distribuição dos artigos científicos por ano de lançamento

2.1. Lean

Este subcapítulo inicia-se com uma breve introdução aos princípios da filosofia Lean. De seguida, são apresentados e descritos os oito tipos de desperdícios desta filosofia.

2.1.1. Filosofia Lean

O *Lean* reúne diversas ferramentas que visam a análise e a evolução de um processo produtivo, de forma que seja possível produzir mais com menos recursos e assegurar uma vantagem competitiva sustentável para a organização, privilegiando aquilo que representa valor para o cliente (Aguzzoul & Nyongue, 2012). Com base nisso, o percurso para a obtenção de resultados sustentáveis passa pela identificação e eliminação de desperdícios, rotulados, segundo a própria filosofia, em oito diferentes tipos: Inutilização de talento, movimentação, defeitos, inventário, sobreprocessamento, transporte, esperas e sobreprodução (Pham & Kilpatrick, 2003). Desta forma, a eficiência do processo produtivo irá ser aumentada, uma vez que a redução dos desperdícios enumerados irá refletir-se em alguns indicadores de desempenho, nomeadamente cumprimento de prazos de expedição, produtividade, simplificação do fluxo de materiais, custo, redução de defeitos, a qualidade, a flexibilidade e a inovação (Miltenburg, 2005).

De acordo com Powell et al. (2014), a incerteza característica de uma empresa *Engineer to Order*, quer relativamente à quantidade como ao tipo e especificações de equipamentos vendidos a médio e longo prazo, torna difícil fazer uma previsão de vendas, o que por sua vez dificulta o planeamento de produção. Isto influencia a aplicação dos conceitos Lean na sua plenitude, sobretudo os que visam eliminar a incerteza através do nivelamento de produção. No entanto, o mesmo estudo conclui que os conceitos Lean são aplicáveis e benéficos para o cumprimento de objetivos de uma empresa *Engineer to Order*.

2.1.2. Desperdícios Lean

O desperdício consiste em toda a atividade consumidora de recursos (como equipamento, material, espaço ou tempo) que não seja transformado em adição de valor para o produto. O desperdício pode tomar várias formas e pode ser encontrado qualquer altura ou local. Identificar o que não acrescenta valor é o primeiro passo para tirar maior partido dos recursos disponíveis (Pavnaskar et al., 2010).

Como demonstra a Figura 5, os desperdícios são classificados em oito diferentes tipos. Os autores Ahmed & Chowdhury (2018), Pereira (2009), Pham & Kilpatrick (2003) e Wahab et al. (2013) descrevem-nos como:



Figura 5 - Oito tipos de desperdício Lean (Angie Lin Boyer, 2018)

Transporte

Excesso de movimento de materiais ou bens gera o aumento de custos, perdas de tempo, dificulta a comunicação e aumenta a probabilidade de danificar o material a ser transportado. Simplificar processos e realizar o número máximo de ações no mesmo posto (se necessário, reajustando o posto de trabalho) ou em locais próximos é benéfico para criar um fluxo de produção mais contínuo.

Inventário

É possível verificar inventário de matéria-prima, entre processos ou de produtos finalizados. Este desperdício está associado à sobreprodução, e tende a aumentar o *lead time* de produção, ocupação desnecessária de espaço e dificulta a rápida identificação de problemas no fluxo produtivo. A existência de inventário, nos casos em que é estritamente necessário, deve ser cuidadosamente controlado.

Movimentação

Movimentos desnecessários, que não representam qualquer adição de valor ao processo ou produto, seja relacionado com questões ergonômicas, seja por ineficiências do *layout* ou do processo. Este desperdício pode ter origem num baixo ritmo de trabalho ou mau *layout*.

Esperas

Ocorrem sempre que o operador tenha que interromper uma determinada tarefa por falta de material, informação, ferramentas ou equipamento, o que conduz à quebra do ritmo de trabalho. A existência de vários tempos de espera leva a que a organização tenha dificuldades em apresentar *lead times* e níveis de produtividade competitivos, por não estar a tirar partido do tempo da forma mais eficaz.

Sobreprodução

Produzir quantidades superiores em relação à procura existente é outro fator que representa um gasto desnecessário de recursos que poderiam ser aplicados de forma a criar valor para o cliente. Por vezes, é necessário sensibilizar os operadores para que verifiquem se aquilo que estão a produzir está a ser necessário, naquele momento, à etapa seguinte de produção, de forma a evitar sobreprodução.

Sobreprocessamento

Processos acessórios que podem ser descontinuados sem que isso afete o valor do produto. Alguns destes processos, como o retrabalho ou a inspeção, podem ser eliminados fornecendo ferramentas ou alterando métodos que permitam executar uma produção mais rigorosa, sem que fique comprometida a qualidade do produto.

Defeitos

Erros de produção que originam ações não requisitadas pelo cliente. Estas ações de correção consomem tempo, recursos e energia, para que o produto de encontre de novo em conformidade.

Inutilização de talento

Atribuir tarefas a colaboradores nas quais não são exploradas as suas capacidades, talento, capacidade criativa ou física. Desconsiderar as características individuais de um trabalhador aquando da atribuição de tarefas leva a que a organização não beneficie de novas ideias, sugestões ou um melhor ritmo de trabalho, e aumenta o risco de desmotivação e perda do trabalhador.

2.2. Seis Sigma

O subcapítulo 2.2 começa com uma breve introdução ao pensamento em que se baseia a filosofia Seis Sigma. De seguida é feita uma descrição da estrutura DMAIC, a qual será seguida na aplicação de todos os casos de estudo abordados no capítulo seguinte.

2.2.1. Filosofia Seis Sigma

O Seis Sigma é uma abordagem que tem em vista reduzir a variação de uma determinada característica do produto, no final do seu processo produtivo, que seja representativo de valor para o cliente, através da identificação e eliminação das causas que originam peças defeituosas (Madhani, 2020). O Seis Sigma, aliás, aproxima-se do ideal de zero defeitos, uma vez que se baseia em métodos estatísticos e científicos para atingir 3,4 defeitos por milhão de oportunidades de um defeito ocorrer (Lin et al., 2013; Linderman et al., 2003). Consequentemente, esse foco na qualidade tem um importante impacto positivo em outros aspetos como a taxa de retrabalho, desperdícios, custo, produtividade e satisfação do cliente (Kaynak, 2003).

Esta filosofia é aplicada em questões que envolvam uma extensa recolha e análise de dados, das quais sejam aplicadas medidas que tenham em vista resultados a longo prazo. Por ser uma abordagem mais profunda e rigorosa, o Seis Sigma é aplicado em contextos com maior grau de complexidade, comparativamente ao Lean (Mendoza-Loyo et al., 2020). A sua implementação, para ser bem-sucedida, deve contar com a participação ativa da gestão de topo da organização e colaboradores visados, fornecedores e clientes. Em primeiro lugar, são definidos os aspetos mais importantes para o sucesso do cliente, de forma a entender qual é o valor e o foco do estudo (Fursule et al., 2012). Posteriormente, recorre-se à aplicação de métodos sistemáticos e com um formato bem estruturado para introduzir uma melhoria num processo, como é o caso do método DMAIC (apresentado no seguinte subcapítulo), ou aplicação de ferramentas estatísticas, como as cartas de controlo ou o gráfico de Pareto (Lin et al., 2013).

2.2.2. Metodologia DMAIC

O DMAIC é uma metodologia estruturada seguida pelo Seis Sigma na abordagem aos problemas. Promove às equipas um método padronizado, dividindo o processo de melhoria em cinco fases: Definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Em cada uma das cinco etapas prescreve as ferramentas adequadas para o cumprimento das suas funções (Fursule et al., 2012). As fases da metodologia DMAIC consistem no seguinte (Chen & Lyu, 2009; Nagi & Altarazi, 2017):

- *Define*: Identificar o foco do estudo e descrever o estado inicial que motiva uma oportunidade de melhoria. Na primeira fase, a visão e os objetivos do cliente devem ser alinhados com as ideias da organização;
- *Measure*: Recolha de dados que demonstrem os impactos do estado inicial do processo. A velocidade do processo, a ocorrência de defeitos ou os custos podem ser fatores levantados nesta fase que justificam a melhoria do processo;
- *Analyze*: Fazer um levantamento das causas que influenciam as variáveis do processo e originam os dados recolhidos na fase *Measure*;

- *Improve*: Selecionar e implementar uma solução para os problemas causados pelos fatores levantados na fase anterior;
- *Control*: Garantir a monitorização do que foi implementado ao longo do tempo, de forma sustentável. Documentar toda a informação relativa às alterações feitas ao processo e criar um plano de controlo.

O ciclo DMAIC leva a que a intervenção a um determinado processo seja feita de forma estruturada e ponderada, fruto de uma investigação que levante as causas das ineficiências (Singh & Shalini, 2018). Este método tem a capacidade de dividir uma tarefa complexa em várias tarefas elementares, o que leva a que o trabalho seja realizado de forma mais objetiva, sejam atingidos melhores resultados e previne que sejam tiradas conclusões precipitadas. O recurso ao DMAIC representa benefícios significativos na capacidade de resposta das organizações perante os desafios e ajuda a implementar ações de melhoria com vista ao aumento do valor perante o cliente (Linderman et al., 2003). De acordo com Hambleton (2007), a mais-valia do DMAIC encontra-se em três aspetos essenciais:

- Foco em resultados, com base em dados objetivos;
- Os trabalhos decorrem de acordo com um projeto bem definido;
- Possibilidade de integração de várias ferramentas e técnicas para cumprir a função de cada uma das fases da estrutura.

Este é um método dinâmico e versátil, portanto, é adequado para identificar e solucionar problemas de diferentes naturezas de forma eficaz: O trabalho realizado por Tchidi et al. (2012) descreve a aplicação da estrutura DMAIC no setor da construção civil em que a filosofia Seis Sigma foi usada para aumentar a qualidade de construção. Por sua vez, na área da saúde, Niemeijer et al. (2010) recorreram a este método para reduzir a duração do internamento dos pacientes num hospital, o que fez diminuir os custos associados e aumentar a qualidade do tratamento.

2.3. Lean Seis Sigma

No último subcapítulo da Revisão Bibliográfica, em primeiro lugar é abordada a filosofia Lean Seis Sigma são apresentados os fatores de diferenciação entre o Lean e o Seis Sigma. De seguida, são descritas as ferramentas Lean Seis Sigmas selecionadas para serem aplicadas ao longo do seguinte capítulo, com vista a atingir os objetivos definidos anteriormente.

2.3.1. Filosofia Lean Seis Sigma

As filosofias Lean e Seis Sigma têm sido amplamente utilizadas para efeitos de melhoria contínua nos últimos anos, sobretudo de forma individual, havendo resultados comprovados em empresas espalhadas por todo o mundo, nas mais variadas indústrias. Apesar de, segundo Aguezzoul & Nyoungue (2012), ambos os métodos consistirem num conjunto de ideias e mecanismos que, através da eliminação de procedimentos que não representam adição de valor ao produto, visam melhorar a eficiência de um determinado processo, existem diferenças significativas entre ambas. Enquanto o Lean é uma filosofia que privilegia aspetos como a eficiência, o custo e a velocidade de produção, no Seis Sigma é feito um estudo de onde saem ações para serem atingidos processos

mais estáveis e previsíveis, com pouca variabilidade e pouca ocorrência de defeitos (Laureani & Antony, 2019; Sá et al., 2020).

Snee (2010) divide as causas para o mau desempenho de um sistema produtivo em ineficiências relacionadas com o fluxo de material e de informação entre os processos e o desempenho dos processos em si. Como mostra a Figura 6, se a falha ocorrer no fluxo entre os processos, são aplicados os princípios Lean para interligar os mesmos da forma mais eficiente. No segundo caso, a filosofia Seis Sigma é a adequada para análise e melhoria de um processo. Seja onde for a origem, a existência de uma falha leva a que todo o sistema seja prejudicado. Por essa razão, estas filosofias devem trabalhar em simultâneo não só para corrigir o problema, mas também para levantar a origem do mesmo.

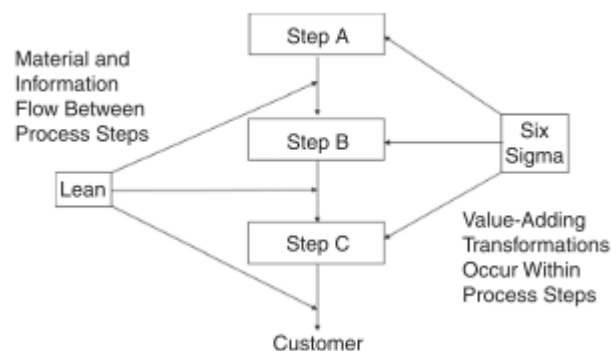


Figura 6 - Lean Seis Sigma (Snee, 2010)

São vários os casos em que as duas filosofias se unem para apresentar uma solução mais versátil e completa na área da melhoria contínua. De acordo com Grover et al. (2016), seguindo a estrutura DMAIC, O Lean Seis Sigma ajuda as organizações a melhorar a qualidade dos seus produtos ou serviços, uma vez que se foca a identificar a causa raiz e a eliminá-la, através da implementação de mudanças na forma trabalhar.

Na Figura 7 é apresentado um esquema que demonstra as mais valias da conjugação das filosofias Lean e Seis Sigma para um sistema produtivo (Snee, 2010):

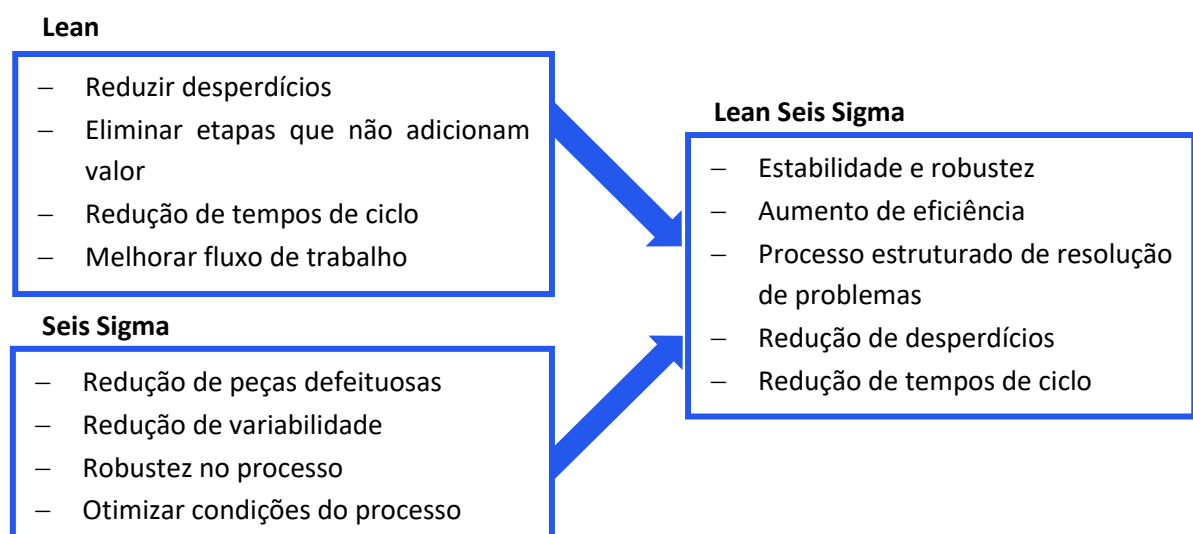


Figura 7 - Representação esquemática da fusão das filosofias Lean e Seis Sigma

Sendo um método do Seis Sigma, o DMAIC tem sido amplamente usado em problemas relacionados com a qualidade. No entanto, o trabalho realizado por Srinivasan et al. (2016) demonstra que existem abordagens alternativas para o uso do método DMAIC que permite que seja alcançada uma posição de vantagem competitiva no mercado sem as implicações financeiras de formação de colaboradores e na implementação da filosofia Seis Sigma numa organização.

As cinco etapas do ciclo DMAIC podem ser apoiadas por um conjunto de ferramentas Lean Seis Sigma cujo propósito se enquadra na abordagem de cada uma das fases, de forma a acrescentar ao DMAIC a capacidade de trabalhar aspetos como a velocidade e o fluxo de trabalho num sistema de produção (Hambleton, 2007). Rifqi et al. (2021) defendem que este é um método que ajuda a seleccionar de forma mais ajustada as ferramentas Lean na abordagem ao problema. Para além disso, sublinha a importância que a fase de análise tem para abordar o problema de forma mais rigorosa e fluída.

Ferreira et al. (2019) desenvolveram um trabalho intitulado “iLeanDMAIC”, em que também foram utilizadas ferramentas Lean nas diferentes fases da estrutura DMAIC, num estudo aplicado em contexto industrial. Conclui-se que a estratégia facilita a resolução de problemas, eleva a competitividade e melhora a capacidade de resposta de uma organização perante a exigência do mercado.

Com base em Selim Ahmed (2019), Chen & Lyu (2009), Ferreira et al. (2019), Nagi & Altarazi (2017), Sá et al. (2020) e Singh & Shalini (2018), a Tabela 1 apresenta algumas das ferramentas aplicáveis em cada uma das fases da estrutura DMAIC.

Tabela 1 - Ferramentas e técnicas Lean Seis Sigma aplicadas no DMAIC

Define	Measure	Analyze	Improve	Control
SIPOC	Cartas de Controlo	Diagrama de Esparguete	Fluxograma	Cartas de Controlo
<i>Daily Kaizen</i>	Diagrama de Pareto	Diagrama de Pareto	<i>Kanban</i>	<i>Daily Kaizen</i>
<i>Value Stream Mapping</i>	<i>Value Stream Mapping</i>	5 porquês	<i>Value Stream Mapping</i>	<i>Standardization</i>
Diagrama de causa e efeito	<i>Key Performance Indicators</i>	Diagrama de causa e efeito	SMED	<i>Poka Yoke</i>
Gestão Visual	Histograma	Histograma	Gestão Visual	Gestão Visual
<i>Voice of customer</i>	Relatório A3	Relatório A3	<i>One Point Lesson</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>
3 M's	Capacidade do processo	Teste de hipóteses	<i>Standard Work</i>	Plano de controlo
5W2H	Análise do sistema de medição	FMEA	FMEA	FMEA
<i>Gemba Walk</i>	Análise de desperdícios	Gráfico de dispersão	Programa 5S	<i>Gemba Walk</i>

2.3.2. Ferramentas Lean Seis Sigma

A filosofia Lean Seis Sigma dá uso ao seu conjunto de ferramentas para identificar e eliminar qualquer tipo de ineficiência. Estas ferramentas permitem alcançar um nível superior de

desempenho, em que a aprendizagem e a criação de valor são inerentes ao processo (Zhang & Chen, 2016). As ferramentas e técnicas Lean Seis Sigma exploradas ao longo desta dissertação são:

Gestão Visual

É o uso de formas de comunicação intuitivas, que auxiliam os colaboradores na sua própria gestão de trabalho, de acordo com a informação disponibilizada à cerca do processo (Oliveira et al., 2017). Existem vários sistemas de gestão visual, tais como: Quadros informativos, instruções de trabalho, marcação de espaço, quadros de medição de desempenho, lista de materiais pendentes entre processos. A criação deste tipo de ferramentas deve ser de fácil interpretação, fácil de atualizar (de forma a evitar que os mesmos se tornem obsoletos) e deve haver uma forte ligação entre a informação contida e os objetivos da empresa (Bateman et al., 2016).

A utilização de estratégias de gestão visual permite disponibilizar aos colaboradores informação atualizada e apresentada de forma sucinta e simples. De acordo com Steenkamp et al. (2017), este tipo de ferramentas tem a capacidade de proporcionar a partilha de conhecimento, algo que gera importantes benefícios tais como a motivação dos trabalhadores com o acesso a dados referentes ao desempenho, exposição de problemas de produção, redução da quantidade de reuniões de gestão de produção, aumento da capacidade de resposta face às adversidades (defeitos, atrasos, avarias) e contribui ainda para uma melhor gestão de recursos.

Torres et al. (2014) destacam que, com a implementação de algumas ferramentas de gestão visual numa empresa *Engineer to Order*, é atingido um maior nível de transparência dentro e fora de departamentos, nomeadamente no que toca à definição de um objetivo comum e comunicação do estado de cada fase de produção. É disponibilizada informação à cerca dos processos que até então se encontrava apenas detida por um número restrito de trabalhadores.

Programa 5S

5S é uma técnica originária no Japão, no início da década de 60, como forma de promover a qualidade no local de trabalho. O nome 5S refere-se a cinco palavras japonesas que categorizam as etapas que constituem esta ferramenta. De acordo com Van Patten (2006), as mesmas consistem em:

- **Seiri (Utilização):** Selecionar os artigos essenciais (seja por frequência de uso ou por relevância) dos restantes. Para isso, é feita uma análise do valor de cada elemento, tendo em conta o tipo de trabalho realizado, a fim de eliminar a acumulação de artigos desnecessários no local de trabalho e tornar a utilização de espaço mais eficiente;
- **Seiton (Arrumação):** Definir os locais mais apropriados para cada elemento, tendo em conta a sua função. Gerir a disposição dos materiais de forma a privilegiar a gestão visual do local de trabalho. Uma boa organização do local de trabalho permite reduzir a improdutividade por procura de materiais e, portanto, tem uma grande influência no ritmo de trabalho e de material;
- **Seiso (Limpeza):** Criar rotinas de limpeza e tomar ações preventivas sobre a desorganização, a sujidade e as avarias de equipamentos. Neste passo é feita uma inspeção das causas que podem ser melhoradas ou corrigidas, de forma a recolher informação para evitar situações de maior sujidade ou dano de equipamentos, bem como para facilitar a visualização do estado do local de trabalho.

- **Seiketsu (Normalização):** Documentar as alterações feitas anteriormente à forma de trabalho, através da criação de procedimentos, rotinas e identificações visuais que contribuam para interiorizar as práticas, de forma que se tornem instintivas por parte dos colaboradores.
- **Shitsuke (Disciplina):** Criar mudanças comportamentais nos colaboradores, de forma a manter ao longo do tempo aquilo que foi feito nas etapas anteriores sem ser necessário qualquer tipo de vigilância ou auditorias. O último “S” é o mais crítico de implementar. Este novo paradigma exige tempo, suporte e reconhecimento às equipas para se verificar alterações na disciplina pessoal. Este elemento, em contraste com os restantes, não é uma mera indicação mas sim um comportamento que deve ser interiorizado e aplicado depois de entendida a importância do processo (Kobayashi et al., 2008).

A aplicação desta ferramenta permite simplificar e organizar o ambiente de trabalho, tornando as tarefas mais eficazes; reduzir o inventário e contribuir positivamente para a produtividade, segurança e qualidade. Para além disso, a implementação do programa 5S levado a cabo por C. Patel & Thakkar (2014) leva à conclusão de que também se verifica menor ocorrência de erros, menos causas de acidentes de trabalho, aumento de eficiência de máquinas e identificar e alertar facilmente potenciais causas de avaria.

Van Patten (2006) sublinha que o programa 5S não se trata apenas de uma limpeza ao chão de fábrica. Esta ferramenta permite redefinir o ambiente de trabalho e explorar todo o seu potencial. O programa 5S dá aos colaboradores a possibilidade de alterarem drasticamente aquilo que pensam sobre o seu trabalho, o local de trabalho e a relação com os seus colegas, promovendo uma melhor comunicação entre as diferentes funções. Quando a sua aplicação é devidamente apoiada pela gestão de topo numa organização, é uma ferramenta fulcral para crescer de forma sustentável no mercado (Randhawa & Ahuja, 2017).

SIPOC

Trata-se de um diagrama que faz o mapeamento dos elementos-chave de um processo através da separação em *Suppliers* (elemento interno ou externo à organização que fornece recursos para o processo); *Input* (materiais ou informação necessários para o processo); *Process* (conjunto de ações que levam à transformação dos *inputs* em *outputs*); *Output* (produtos ou serviços criados no processo); *Customer* (elemento externo ou interno à organização que recebe os *outputs*). A exposição destes elementos e da forma como os mesmos estão relacionados entre si permite dar visibilidade a potenciais deficiências de todo o processo, entre aquilo que é esperado pelos fornecedores e aquilo que os clientes esperam do trabalho (Gueorguiev, 2018; Klumbyte et al., 2020; Mishra & Sharma, 2014).

Diagrama de Esparguete

O Diagrama de Esparguete é um método gráfico para estudo do desperdício relacionado com o movimento de pessoas e materiais. Através de uma linha, o trajeto percorrido pelo alvo do estudo – trabalhadores, materiais ou produtos – é representado, de onde podem ser retiradas várias conclusões como a existência de movimentos e áreas ineficientes, o comprimento do trajeto, o número de movimentos e a repetição de movimentos. Esta ferramenta é importante para recolher dados que auxiliam a tomada de ações para a redução de tempos não produtivos, como alterações ao *layout* da estação de trabalho e à forma como os materiais ou ferramentas são disponibilizados (Reis et al., 2016; Senderská et al., 2017).

5W2H

Esta ferramenta permite abordar um determinado problema de forma estruturada e objetiva. Segundo Coletti et al. (2010), o 5W2H pode ser aplicado em duas diferentes situações: reportar a ocorrência de um problema ou elaborar um plano de ações preventivas ou corretivas. Quando aplicado na preparação de um plano de ação, Nakagawa (2014) definiu os princípios da ferramenta 5W2H da seguinte forma:

- *What*: O que deve ser feito;
- *When*: Prazo para ser executado;
- *Where*: Onde deve ser implementado;
- *Who*: Quem é o responsável pela ação;
- *Why*: Porque deve ser implementado;
- *How much*: Custo de ser implementado;
- *How*: Como deve ser feito.

Value Stream Mapping

Esta ferramenta tem a função de representar graficamente o fluxo de materiais e informação de uma determinada cadeia de valor. Tradicionalmente, o *Value Stream Mapping* (VSM) é aplicado no processo físico de fabrico de determinado produto, no entanto, esta ferramenta pode também ser enquadrada em outro tipo de processos não físicos importantes na criação de valor de uma organização *Engineer to Order*, como em processos de engenharia ou gestão de projetos (Strandhagen et al., 2018).

O VSM, ilustrado na Figura 8, pode ser usado para mapear o fluxo inicial e futuro. No primeiro caso, são representadas todas as atividades envolvidas na realização do processo estudado, o que ajuda a identificar as etapas que não acrescentam valor ao produto ou serviço. Nesta representação, é também feita uma recolha de dados relativamente a cada etapa do fluxo, que podem revelar-se como indicadores de desperdícios, como a distância percorrida, o tempo de ciclo, o inventário ou o número de colaboradores. A exposição deste tipo de informação, desde o fornecimento de matéria-prima até à expedição ao cliente, ajuda a fazer uma reavaliação global ao processo e a definir um objetivo, através da elaboração de um novo VSM que ilustra o cenário que se pretende atingir – VSM do estado futuro. A representação do fluxo presente e atual, expondo não só os desperdícios existentes como a localização da sua origem no mapa de processo, faz do VSM uma ferramenta poderosa para definir e priorizar ações para atingir um sistema com maior capacidade de aplicar os princípios Lean (Mistry, 2020).

A maioria das filosofias ou técnicas de melhoria contínua encontram-se mais orientadas para sistemas de produção em massa. Alguns pressupostos do VSM foram escritos por Seth et al. (2017), entre os quais a existência de uma produção em que as especificações do produto não variam de forma significativa (assim como os materiais constituintes), o volume de produção é razoavelmente alto e os produtos podem ser facilmente separados por famílias. Como tal, as organizações com produções pouco repetitivas, como as empresas cuja abordagem produtiva é *Engineer to Order*, enfrentam maiores dificuldades na aplicação do VSM ou outras ferramentas Lean. O complexo fluxo de materiais, influenciado pelas especificações do produto, e toda a variabilidade de processos entre clientes representa um desafio na elaboração desta ferramenta (Mudgal et al., 2020; Thomassen et al., 2015).

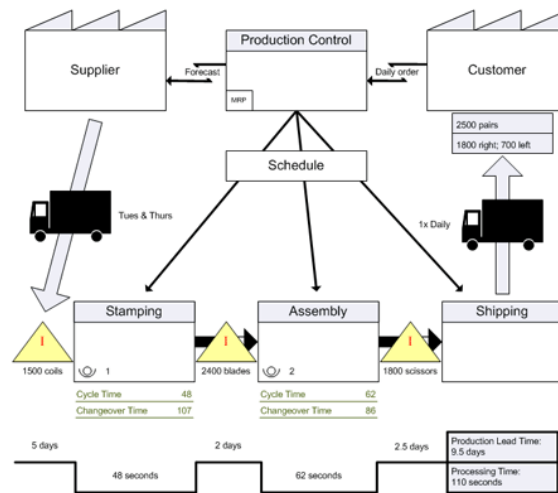


Figura 8 - Value Stream Mapping: Exemplo (Olofsson, 2012)

2.4. Redução de desperdício através do uso de Programação Linear

O recurso à programação matemática permite gerir os recursos da forma mais eficiente, respeitando as restrições específicas ao problema. Esta é uma solução que permite tornar a tomada de decisão mais objetiva e fiável. Atualmente, muitas organizações têm optado por recorrer à programação linear como uma técnica para otimizar a gestão de recursos. Os resultados comprovados em contexto real são evidentes, de tal forma que é considerado um importante avanço científico para tornar uma organização mais sustentável, quer ao nível ambiental como ao nível económico (Fagoyinbo et al., 2011).

A diversidade de problemas de corte aplicáveis aos modelos de otimização exigem a existência de vários algoritmos e métodos para este tipo de problemas, no entanto, compará-los torna-se uma tarefa difícil, visto que estes trabalham diferentes fatores (Gradišar et al., 2002). Dyckhoff (1990) introduziu uma abordagem sistemática aos problemas de corte, na qual apresenta uma categorização universal que serve como base para muitos trabalhos desenvolvidos neste tema. Posteriormente, Wäscher et al. (2007) identifica algumas limitações desta tipologia, considerando-a insuficiente tendo em conta os desenvolvimentos que se sucederam relativamente aos problemas de corte. O mesmo autor parte do trabalho de Dyckhoff (1990) para sugerir uma classificação mais completa que permitirá uma melhor organização perante este tipo de problemas, dando mais visibilidade às especificidades que podem existir. Assim, os problemas de corte são definidos de acordo com os critérios de dimensão (uma, duas ou três dimensões), tipo de atribuição (maximizar a utilização de material ou minimizar desperdício), tipos de itens (idênticos, pouco diferenciados ou totalmente diferenciados entre si), tipos de objetos (um ou mais tipos) e forma dos itens.

O problema de corte de material a uma dimensão, abordado no próximo capítulo, consiste em determinar a melhor forma de fragmentar a matéria-prima para obter os elementos previstos. É o estudo da melhor combinação de itens de diferentes comprimentos - a partir da qual é criado um padrão de corte - de forma a respeitar um conjunto de restrições e atingir um certo objetivo (Dyckhoff, 1990). Existe uma grande variedade de objetivos possíveis definidos para este tipo de problemas, tais como minimizar o somatório do comprimento não utilizado (sobras de corte),

minimizar os custos de produção, minimizar a quantidade de material utilizado e maximizar o lucro (Cherri et al., 2014).

página propositadamente em branco

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

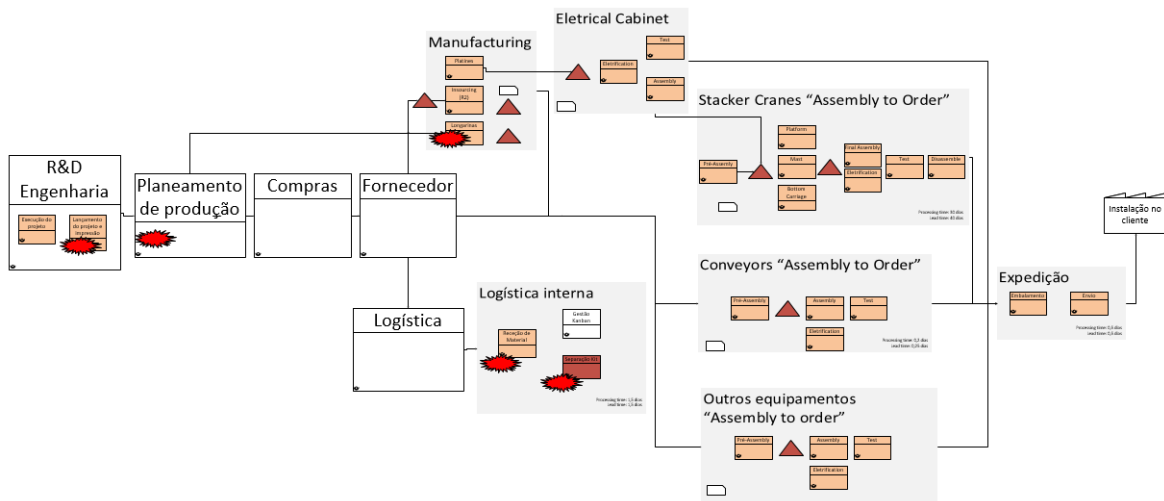


Figura 9 - Mapa de fluxo de produção

Os conceitos e ferramentas apresentadas no capítulo anterior são, no decorrer deste capítulo, aplicados em contexto real, face às necessidades encontradas na empresa Korbër Supply Chain. Essas necessidades encontram-se divididas em três grupos, em que em cada um é aplicada a estrutura DMAIC para a aplicação de ferramentas Lean Seis Sigma, com vista à melhoria do estado inicial dos processos estudados. Cada um dos três projetos inicia-se com uma tabela onde são apresentadas as ferramentas ou métodos aplicados.

Para maior entendimento do funcionamento da empresa e da forma como esta está organizada, na Figura 9 encontra-se um mapa de fluxo de produção, desde que os equipamentos são projetados até à sua expedição. Neste mapa são adicionados *Kaizen Bursts* nos pontos que serão alvo de intervenção através dos projetos desenvolvidos ao longo do presente capítulo.

No primeiro projeto, o DMAIC é aplicado ao processo produtivo de um equipamento específico – os *conveyors*. É na montagem deste produto que é identificada uma oportunidade de melhoria no processo de corte de perfis para a obtenção de longarinas. A melhoria será implementada, mais especificamente, na fase do planeamento de produção, na forma como é determinado o número de perfis de alumínio que são necessários comprar para obter a quantidade e o comprimento das longarinas que estão previstas para um determinado projeto, bem como no modo como o esquema de corte é apresentado ao colaborador. Este projeto inclui um subcapítulo onde é apresentada a formulação matemática na base do modelo em programação linear, desenvolvido para combater o desperdício de matéria-prima neste processo.

No segundo projeto é explorada uma oportunidade de melhoria na forma como os desenhos técnicos são fornecidos aos colaboradores. Aqui, a prática adotada inicialmente era o uso quase exclusivo ao papel o que, como será demonstrado, implica a existência de vários desperdícios. Esta prática será invertida com a implementação de uma mudança significativa da forma como os documentos técnicos dos equipamentos são disponibilizados aos operadores mecânicos.

No terceiro e último projeto, o setor da logística interna será alvo de análise, a partir da qual são levantadas algumas causas que levam a atrasos na expedição. A implementação de ferramentas Lean integradas na estrutura DMAIC contribui para um fluxo de trabalho mais contínuo e maiores níveis de produtividade na montagem mecânica dos equipamentos.

3.1. Operação de corte de matéria-prima para a produção de longarinas

Tabela 2 - Conjunto de ferramentas aplicadas no problema do desperdício de matéria-prima no fabrico de longarinas

<i>Define</i>	SIPOC
<i>Measure</i>	Análise de desperdício de material
<i>Analyze</i>	Diagrama causa-efeito
<i>Improve</i>	Ferramenta de gestão de matéria-prima
<i>Control</i>	Análise de ganhos

Como já referido, os *conveyors* (ou transportadores) é o grupo de produtos desenvolvido em maior quantidade, por ser um elemento tendencialmente requisitado também em grande quantidade num armazém logístico. Resumidamente, os *conveyors* são equipados pelo conjunto de motorização elétrica, pernas, rolos movidos por correntes, no caso dos RCV's, ou apenas correntes, no caso dos CCV's, e as longarinas, que suportam as correntes ou extremidades dos rolos (Figura 10). As longarinas de alumínio diferem no formato do perfil, consoante se trate de CCV ou RCV.



Figura 10 - Transportador de rolos (à esquerda) e transportador de correntes (à direita)

Apesar da génese da empresa ser a montagem de equipamentos, existem também algumas operações mecânicas que são realizadas dentro de portas, onde se inserem operações de corte de longarinas. O comprimento das longarinas é igual ao comprimento dos *conveyors*, uma vez que estas são montadas no equipamento ao longo de todo o seu comprimento. Estes dados são apresentados no mapa de quantidades, extraído do *layout* estudado para novo armazém automatizado do cliente, variando entre 1 e 5 m. O mapa de quantidades é usado pela equipa de planeamento de produção para estimar a quantidade de matéria-prima necessária para o corte das longarinas previstas e criar um pedido de compra com essa informação.

As longarinas são cortadas a partir de perfis de alumínio extrudido com 6 000 mm de comprimento. No entanto, o comprimento útil do perfil não corresponde a esse valor, uma vez que os perfis

apresentam defeitos superficiais nos primeiros 50 mm em ambas as extremidades, que não poderão estar presentes no equipamento (Figura 11). Assim sendo, o comprimento útil definido para o perfil são 5 900 mm, o que impossibilita, por exemplo, obter duas longarinas de 3 000 mm a partir do mesmo perfil de alumínio.



Figura 11 - Defeitos nas extremidades dos perfis de alumínio

Depois de realizado o pedido de compra de material e chegada a data planeada para iniciar o corte de perfis, é entregue aos operadores de corte, juntamente com o desenho técnico da longarina, um esquema com as indicações de corte que serviram de base para estimar o número de perfis necessário, isto é, indicações da alocação das longarinas nos perfis de alumínio comprados, para serem seguidas pelos operadores de corte.

Para a fase **Define**, de forma a mapear o fluxo da produção de longarinas, é apresentado na Figura 12 um diagrama SIPOC (*Suppliers – Input – Process – Output – Customer*):

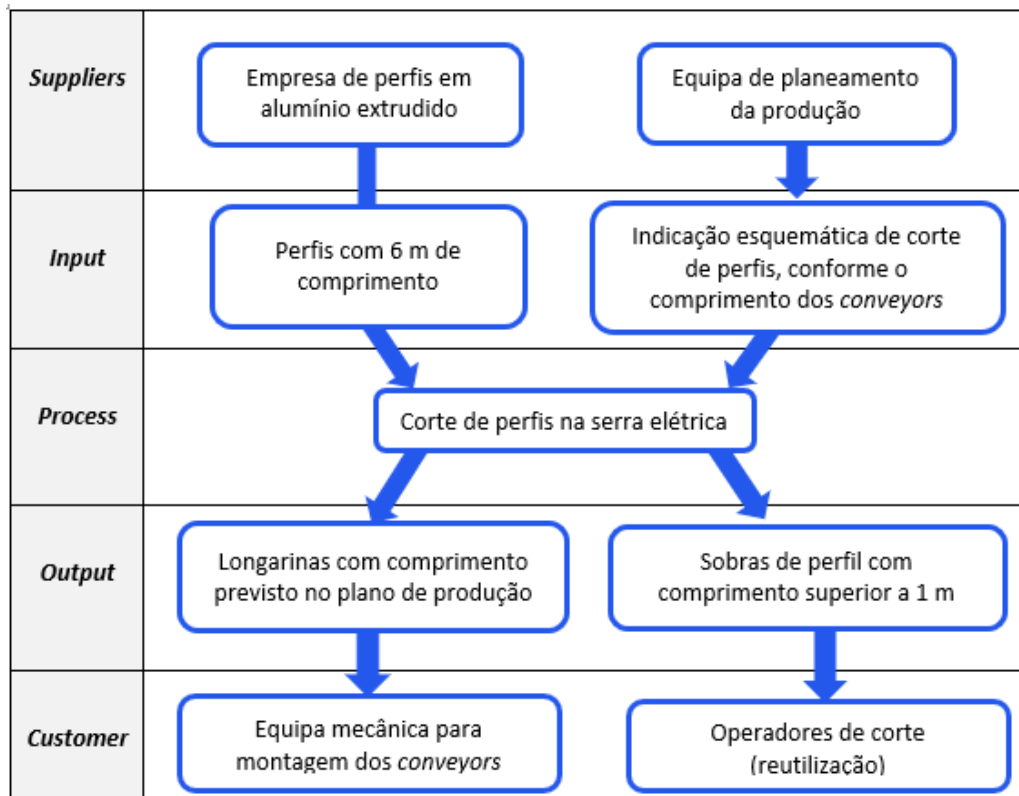


Figura 12 - SIPOC aplicado à produção de longarinas

São identificados e quantificados neste processo problemas e ineficiências relacionadas com a ferramenta utilizada para o registo de corte de longarinas, que carecem de intervenção para aumentar o aproveitamento do material e melhorar o fluxo de informação entre os operadores mecânicos e o departamento de planeamento de produção:

1) Subaproveitamento de matéria-prima no corte de longarinas:

A ferramenta inicial não apresenta qualquer automatismo para maximizar a taxa de utilização de recursos, combatendo o desperdício através da minimização do comprimento das sobras de corte. A realização do esquema de corte, por ser um processo manual, leva a uma solução rapidamente atingível, o que nem sempre corresponde à solução que representa o mínimo número de perfis de alumínio utilizados.

2) Dificuldades na gestão de sobras de corte de perfil para reutilização em novos projetos:

Ausência de registo automatizado de novas sobras de corte, que garanta assim o fácil acesso ao inventário atualizado das sobras em *stock*, e seus respetivos comprimentos. Para além disso, a ferramenta não apresenta de forma clara e sucinta as sobras de corte existentes em *stock*, o que desincentiva a reutilização das mesmas novos projetos.

3) Esquema de corte definido pela equipa de planeamento de produção descreditado pelos operadores

A apresentação do esquema de corte realizada pela equipa de planeamento de produção, por ser desordenada e difícil de interpretação, é muitas vezes ignorado e desencorajado a ser seguido, o que leva a que os operadores executam o corte seguindo a sua própria gestão. Esta prática leva a que o número de perfis comprados possa vir a tornar-se insuficiente, e o registo do comprimento

e quantidade de sobras de corte existentes incongruente com o que realmente existe em *stock* no chão de fábrica.

Na fase **Measure**, o primeiro problema identificado (que trata a utilização não otimizada de matéria-prima na fase da elaboração do esquema de corte) é quantificado através do cálculo do comprimento das sobras de corte de um projeto escolhido para este estudo.

O primeiro caso de estudo é apresentado na Figura 13, que consiste no esquema de corte de perfis para a produção de longarinas destinadas a um conjunto de equipamentos RCV. Neste caso, considera-se que não existem sobras de um projeto anterior para serem aproveitadas. A disposição estabelecida das longarinas leva ao corte de 70 perfis de alumínio, como demonstrado através do esquema de corte desenvolvido. O comprimento útil total das sobras de corte resultantes do esquema apresentado é de 74 000 mm. Na Equação 1 é calculada a percentagem do comprimento útil dos perfis de alumínio não aproveitada para a produção de longarinas, neste projeto:

$$\frac{74\ 000}{5\ 900 * 70} = 0,179177 \quad \text{Equação 1}$$

Conforme calculado, 17,9% do comprimento útil da matéria-prima corresponde a sobras de corte, neste projeto. Sendo o custo unitário dos perfis de alumínio 170€, o custo total de perdas é calculado na Equação 2:

$$170 * 70 * 0,179177 = 2\ 132,21€ \quad \text{Equação 2}$$

Comprimento	Quant.	R7-0822388 / R6-0820894 - longarina RCV			Cortes	Sobras	Total
3150	4	3150	2250		5400	600	4
3000	2	3000	2550		5550	450	2
2850	24	2850	2700		5550	450	24
2850	6	2850	2550		5400	600	6
2700	24						
2550	8						
2400	12	2400	1800	1650	5850	150	12
2250	4						
1800	16						
1650	12						
1650	4	1650	1800		3450	2550	4
1650	18	1650	1500		3150	2850	18
1500	18						
						Perfis	70
						Metros	420

Figura 13 - Esquema de corte: Cálculo inicial

Para analisar as causas (fase **Analyze**) que levam ao subaproveitamento de matéria-prima na produção deste elemento é feito um diagrama causa-efeito, apresentado na Figura 14:

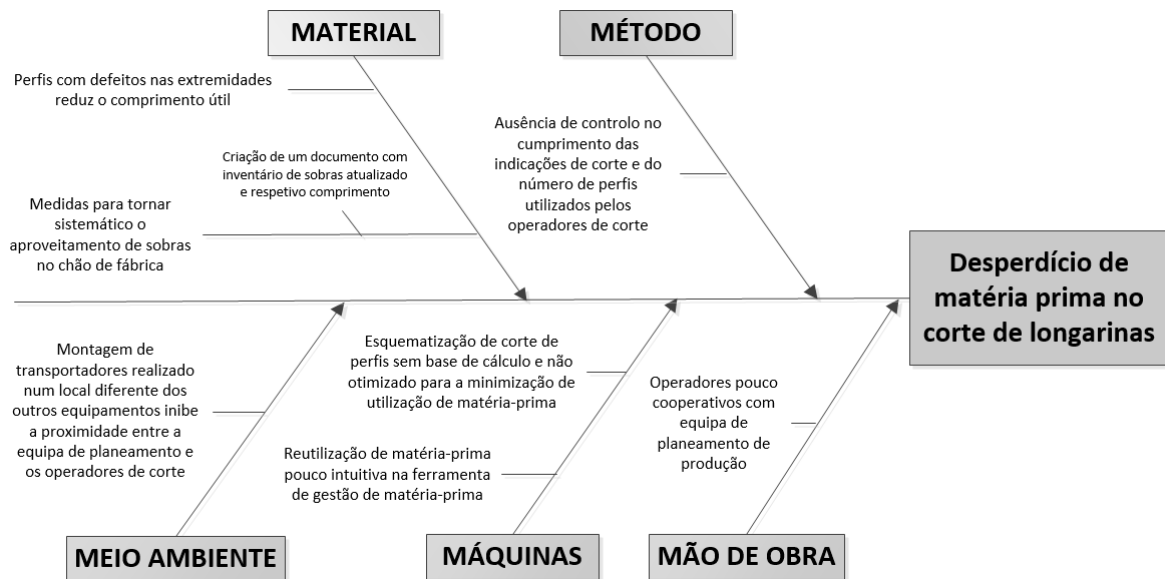


Figura 14 - Diagrama causa-efeito para análise ao desperdício de matéria-prima no corte de longarinas

Pela análise do diagrama-causa efeito, é possível afirmar que o combate a este desperdício pode ser feito por duas vertentes: A melhoria da ferramenta utilizada para gestão de matéria-prima e planeamento de corte de perfis, para que seja atingida uma solução em que haja maior taxa de utilização de comprimento de perfis, e uma vertente comportamental, que passa pela melhoria do fluxo de informação e sensibilização para combater o desperdício de recursos materiais.

Na fase **Improve**, procede-se ao desenvolvimento de uma nova ferramenta, “*Cutting Optimizer 1D*”. Esta ferramenta, cuja interface se encontra apresentada na Figura 15, tem como principal objetivo otimizar o consumo de matéria-prima para a produção de longarinas, reduzindo o desperdício de perfil no processo de corte. Para isso, contém um modelo em programação linear que determina a solução que minimiza o número de perfis usados para obter as longarinas introduzidas pelo utilizador, apresentando automaticamente o esquema de corte que deve ser seguido para atingir essa quantidade otimizada de matéria-prima. O automatismo de todo este processo contrasta com o estado anterior, em que a elaboração das instruções de corte era um processo totalmente manual e sem base matemática, o que torna o processo bastante mais demorado.

Assim, a grande mais-valia desta nova ferramenta é a garantia de que, para cada cliente e para cada tipo de perfil, a quantidade de material comprada não excede os mínimos necessários para a obtenção das peças pretendidas. Porém, a ferramenta desenvolvida tem ainda outras funcionalidades que procuram responder às necessidades levantadas na fase *Analyze*. Assim, esta ferramenta está dividida da seguinte forma:

- Cálculo do número mínimo de perfis necessários para corte

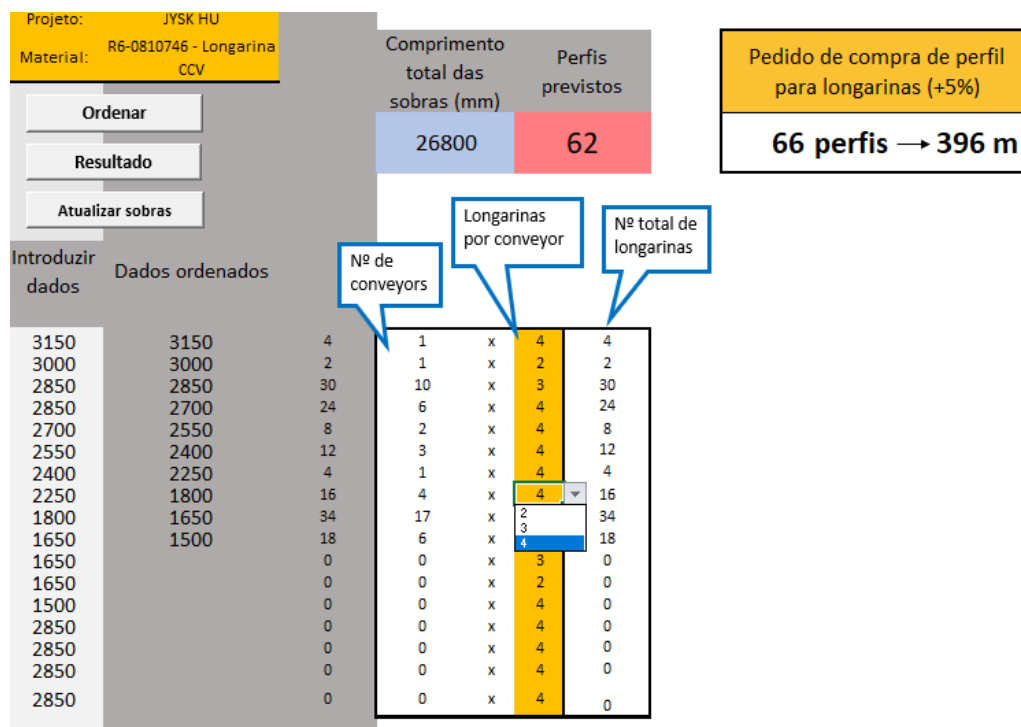


Figura 15 - Cutting Optimizer 1D: Cálculo otimizado da quantidade de matéria-prima

Para o cálculo do número de perfis, o utilizador deve começar por caracterizar os *conveyors* onde irão ser montadas as longarinas. Para tal, deve definir o comprimento de cada um dos *conveyors* e seleccionar se os mesmos pertencem ao grupo que contém duas (no caso da carga transportada ser em formato palete), três ou quatro longarinas (para outros formatos, em que é exigido um equipamento de maior largura). Depois de correr o modelo, serão devolvidos o número mínimo de perfis para corte e o número de perfis que deve ser pedido para compra, com uma margem de segurança de 5%.

- Registo da produção de longarinas por projeto (Figura 16):

Projeto 1	R6-0810746 - Longarina CCV	R7	Ordem de compra (+5%) (m)	Perfis usados (+5%)	Comprimento	Nº de conveyors
		Longarinas CCV	90	15	4000	5
Origem	3000	2				
4.8A.7	R6-0810746 - Longarina CCV	R1 Origem	78	13	2100	1
		R7-0811163			1500	2
		Longarinas CCV			1200	1
		Origem			4832	2
		R1-			4432	2
					4232	1
					4132	1
					1482	2

Figura 16 - Cutting Optimizer 1D: Registo de corte

É criado um separador para registo do tipo e quantidade de perfis comprados e utilizados em todos os projetos. Esta informação é apresentada de forma mais clara comparativamente à

ferramenta anterior, o que facilita o fluxo de informação entre a equipa de planeamento de produção e o departamento de compra de material.

- Reutilização de sobras de corte de perfil:

		Sobras existentes				
		Material	Comprimento	Quantidade	Origem	Utilizado?
Material	R6-0810746 - Longari...	R6-0820894 - longarina RCV	2000	12	Projeto 1	
	R6-0820894 - longari...	R6-0810746 - Longarina CCV	1600	7		
	R6-0820897 Blindage...	R6-0810746 - Longarina CCV	1500	1		
	(em branco)	R6-0810746 - Longarina CCV	1400	2		
	R6-0810746 - Longarina CCV	1300	1			
	R6-0810746 - Longarina CCV	1200	4			
	R6-0810746 - Longarina CCV	1100	2			
	R6-0810746 - Longarina CCV	1000	1			
	R6-0810746 - Longarina CCV	900	1			
	R6-0810746 - Longarina CCV	600	4			
Comprimento	600	R6-0810746 - Longarina CCV	2268	2	Projeto 2	
	900	R6-0810746 - Longarina CCV	2468	6		
	1000	R6-0820894 - longarina RCV	1600	4		
	1050	R6-0810746 - Longarina CCV	1968	10		
	1100	R6-0810746 - Longarina CCV	2168	24		
	1200	R6-0810746 - Longarina CCV	2268	32		
Utilizado?	Sim	R6-0810746 - Longarina CCV	1968	4	Projeto 3	
	(em branco)	R6-0810746 - Longarina CCV	2568	2		
		R6-0820894 - longarina RCV	1650	1		
		R6-0820894 - longarina RCV	2250	1		
		R6-0820894 - longarina RCV	1050	3		
		R6-0820894 - longarina RCV	2400	6		
		R6-0820897 Blindagem Inferior RCV	4500	1		
	R6-0810746 - Longarina CCV	2568	6	Projeto 1	Sim	
	R6-0810746 - Longarina CCV	2068	3			

Figura 17 - *Cutting Optimizer 1D*: Reutilização de matéria-prima

Perante as dificuldades apresentadas na fase *Analyze* relativamente à gestão da reutilização de matéria-prima, é incorporado na ferramenta o inventário de sobras de corte, sustentado pelo esquema de corte otimizado determinado a cada novo projeto, a partir do qual as novas sobras são automaticamente inseridas, garantindo que a base de dados de sobras de corte se encontra sempre atualizada. Conforme demonstrado na Figura 17, o registo automático de novas sobras de corte especifica a quantidade, o comprimento e o tipo de perfil da mesma. O registo automático de novas sobras de perfil com comprimento superior a 1 m facilita o acesso a esta informação e promove a reutilização de material.

Com esta base de dados, o utilizador é incentivado a consultar o material existente em *stock* antes de iniciar o corte em novos perfis. Esta consulta torna-se bastante mais rápida e fácil, visto que é possível filtrar a lista de sobras de corte em *stock* por tipo de perfil e comprimento, acedendo diretamente ao conjunto de sobras cujo comprimento é superior ao comprimento das longarinas que se pretende obter.

- Apresentação do esquema de corte

KÖRBER		Projeto:	Material: R6-0810746 - Longarina CCV	Total:	62	Comprimento utilizado:
	2550		1650	1650	3	5850
	2400		1800	1650	2	5850
3000	2850				1	5850
	2700		1650	1500	3	5850
3150	2700				1	5850
	2850		1500	1500	3	5850
	2400		1650	1650	5	5700
	2850			2850	9	5700
3150	2550				1	5700
	2700		1500	1500	2	5700
	2550		1650	1500	1	5700
	2850	2700			6	5550
3150	2400				1	5550
		2250	1650	1650	1	5550
		2250	1650	1500	1	5400
		1800		1800 1800	4	5400
	2700			2700	4	5400
	2400		1500	1500	1	5400
	2700	2550			1	5250
	2850	2400			1	5250
	2550			2550	1	5100
3150		1800			1	4950
	1650	1650	1650		2	4950
	2400			2400	1	4800
		2250		2250	1	4500
3000			1500		1	4500
	2850		1650		1	4500
	2700		1800		1	4500
	2700		1650		2	4350

Figura 18 - *Cutting Optimizer 1D*: Apresentação do esquema de corte

É também um dos requisitos para o desenvolvimento de uma nova ferramenta a melhoria da apresentação do esquema de corte aos operadores, uma vez que um dos problemas identificados anteriormente é o incumprimento das indicações de corte pelos operadores, impulsionada pela forma pouco explícita como essas indicações eram apresentadas. Este é um ponto fundamental para que essa situação seja invertida porque o cumprimento do esquema de corte é a única forma de minimizar o desperdício de material, seguindo a solução obtida no cálculo da quantidade de perfis de alumínio necessária. Na Figura 18 encontra-se o novo grafismo para a apresentação do esquema de corte, no qual cada linha corresponde a um padrão de corte diferente.

Na fase **Control**, é feito um acompanhamento mais aproximado junto dos colaboradores, para garantir que o plano de corte é seguido e que a interpretação do mesmo é correta. Verifica-se a tendência para respeitar o esquema de corte desenvolvido, graças ao facto de a informação contida ser transmitida de forma mais clara.

Nesta etapa do ciclo DMAIC são também quantificados, com base no mesmo caso de estudo utilizado para a fase *Measure*, os ganhos da implementação desta nova ferramenta, o que ajudará na sensibilização para a sua importância. Na fase *Measure*, o processo anterior de elaboração de esquemas de corte determinou a compra de 70 perfis de alumínio, como demonstra a Figura 13. Foi também comprovado que 17,9% do comprimento útil dos perfis de alumínio comprados não foram aproveitados no corte de longarinas para o mesmo projeto, o que se traduz em 74 000 mm úteis de perfil não aproveitados, desperdício este que tem um impacto económico de 2 132,21€.

Para comparar o método inicial e o método proposto, aplica-se na ferramenta “*Cutting Optimizer 1D*” o mesmo caso de estudo utilizado para a fase *Measure*. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 15. Nesta simulação verifica-se que, com o esquema de corte calculado pelo modelo de otimização, são necessários apenas 62 perfis de alumínio para obter as mesmas longarinas, menos oito que no anterior cenário. Dos 62 perfis de alumínio, sobram 26 800 mm úteis de comprimento que não são utilizados. Na Equação 3 é calculada a percentagem de comprimento útil não utilizada para a produção de longarinas para este projeto, de acordo com a solução do modelo de otimização:

$$\frac{26\,800}{5\,900 * 62} = 0,073264 \quad \text{Equação 3}$$

A percentagem de comprimento útil de perfil não utilizado, de acordo com a solução do modelo de otimização, é de 7,3%. Assim, as sobras de corte (comprimento útil não utilizado) são reduzidas em 63,8% comparativamente com o método anterior, como demonstrado através da Equação 4.

$$1 - \frac{26\,800}{74\,000} = 0,638 \quad \text{Equação 4}$$

Na Equação 5 é calculado o impacto financeiro resultante da redução da quantidade de matéria-prima comprada, fruto da diminuição de desperdício com a utilização do modelo de programação linear para minimização do número de perfis de alumínio cortados:

$$170 * 70 * 0,179177 - 170 * 62 * 0,073264 = 1\,360,00\text{€} \quad \text{Equação 5}$$

Face ao calculado na fase *Measure*, conclui-se que a redução de desperdício de matéria-prima reflete-se na poupança de 1 360€. A redução deste valor, face ao custo inicial da compra de matéria-prima, tem uma importância de 11,4% no custo total da compra de perfis, como demonstrado na Equação 6.

$$\frac{1\,360}{170 * 70} = 0,1143 \quad \text{Equação 6}$$

Na Figura 18 é apresentada a folha com o novo esquema de corte calculado pelo modelo de otimização para este caso de estudo. Ao contrário do que aconteceria se o esquema de corte fosse determinado manualmente, existe uma grande quantidade de padrões de corte para este projeto, o que leva a concluir que apenas com recurso a um método de apoio à decisão é possível atingir o resultado que minimiza o número de perfis de alumínio utilizados.

A Figura 19 demonstra graficamente a diferença entre o método não otimizado (situação inicial) e o cálculo sustentado por um modelo de otimização, através da percentagem de sobras de corte do caso estudado, determinado na Equação 1 e Equação 3.

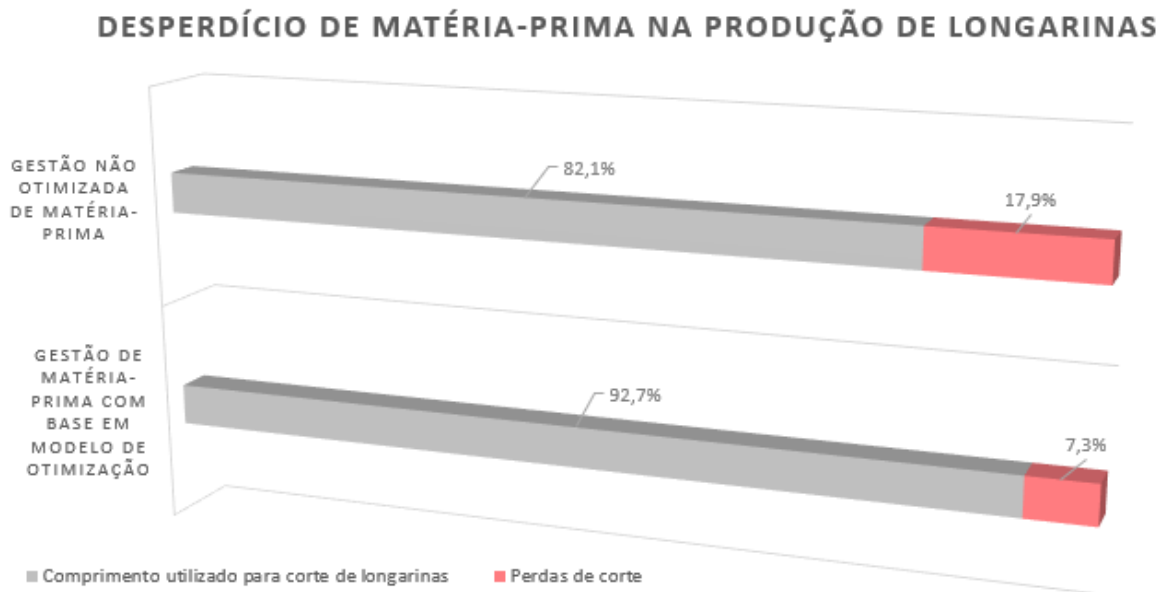


Figura 19 - Desperdício no corte de material para a produção de longarinas: Antes e depois da otimização do processo

3.1.1. Modelo matemático para o problema de corte unidimensional de matéria-prima para a produção de longarinas

Neste subcapítulo, o modelo em programação linear para a otimização de corte a uma dimensão é formulado. Este modelo, adaptado do trabalho desenvolvido por Jahromi et al. (2012), terá a capacidade de executar a alocação dos vários tipos de longarinas (cujo fator diferencial é o comprimento) nos perfis de alumínio (matéria-prima) disponíveis. Existem diferentes abordagens para a resolução de problemas de corte. De acordo com a classificação de problemas levantada por Wäscher et al. (2007), trata-se de um *Single Stock Size Cutting Stock Problem*, uma vez que tem respeito as seguintes condições:

- 1) O objetivo é minimizar o desperdício (partindo do pressuposto que o número de perfis disponíveis em *stock* é sempre superior ao solicitado para cada projeto);
- 2) Existem relativamente poucos grupos de longarinas de comprimentos diferentes, em cada projeto;
- 3) Os perfis têm todos a mesma dimensão.

Como demonstrado na Equação 7, pretende-se minimizar o número de perfis utilizados para corte, maximizando a percentagem de comprimento utilizado dos perfis. A utilização do modelo será feita individualmente para cada projeto e tipo de conveyor no qual irão ser montadas as longarinas (CCV ou RCV), portanto, o tipo de perfil não representa uma variável neste modelo.

Descrição do problema

O utilizador fornece a lista de longarinas que se pretende obter a partir do corte da matéria-prima. Como referido anteriormente, as longarinas são agrupadas consoante o seu comprimento: As longarinas do mesmo tipo correspondem a longarinas com o mesmo comprimento, ao qual é

atribuído um índice j . Todos os perfis de alumínio a partir dos quais as longarinas são cortadas têm um comprimento inicial igual a 6 000 mm, porém, este valor não corresponde ao comprimento útil, devido aos defeitos superficiais presentes em ambas as extremidades dos perfis. Assim, o comprimento útil atribuído aos perfis é constante e igual a 5 900 mm. Uma determinada solução será considerada a solução ótima se a ela corresponder o número mínimo de perfis cortados.

Índices:

i : Índice dos perfis de alumínio;

j : Índice do tipo de longarinas;

Parâmetros:

C : Número de diferentes tipos de longarinas;

P : Número de perfis utilizados;

Q : Número de perfis disponíveis em *stock*;

l_j : Comprimento das longarinas tipo j ;

n_j : Número de longarinas previstas para cada tipo j ;

Variáveis de decisão:

y_i : Se o perfil i é utilizado para corte;

x_{ij} : Número de longarinas do tipo j cortadas a partir do perfil i .

Função objetivo:

- Minimizar o número de perfis utilizados P ;

$$\text{Min } P = \sum_{i=1}^Q y_i \quad \text{Equação 7}$$

Restrições:

- A Equação 8 garante que o somatório do comprimento das longarinas alocadas a um perfil i não é superior ao comprimento útil do perfil;

$$\sum_{j=1}^C l_j * x_{ij} \leq 5\,900 * y_i, \quad \forall i \in (1 \dots Q) \quad \text{Equação 8}$$

- A Equação 9 assegura que todas as longarinas previstas no mapa de produção são obtidas;

$$\sum_{i=1}^Q x_{ij} = n_j, \quad \forall j \in (1 \dots C) \quad \text{Equação 9}$$

- A Equação 10 define o majorante para o número de perfis usados em cada projeto;

$$Q = \left\lceil \sum_{j=1}^C (l_j * n_j) / 5\,900 * 1,5 \right\rceil \quad \text{Equação 10}$$

- Na Equação 11, a variável y_i é definida como binária;

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in (1 \dots Q) \quad \text{Equação 11}$$

- Na Equação 12, a variável x_{ij} é definida como positiva e inteira;

$$x_{ij} \geq 0, \epsilon \text{ int} \quad \forall i \in (1 \dots Q), j \in (1 \dots C) \quad \text{Equação 12}$$

3.2. Consulta de desenhos técnicos

Tabela 3 - Conjunto de ferramentas aplicadas no problema da consulta de desenhos técnicos

<i>Define</i>	<i>Value Stream Mapping</i>
<i>Measure</i>	Análise de desperdícios Lean
<i>Analyze</i>	Diagrama de Esparguete
<i>Improve</i>	Fluxograma, <i>Value Stream Mapping</i>
<i>Control</i>	Instrução de trabalho; Análise de ganhos

O segundo projeto incide sobre os desenhos técnicos de conjunto dos produtos da Körber Supply Chain e o seu percurso desde o momento em que são lançados pelo departamento de engenharia até serem disponibilizados aos operadores mecânicos, no chão de fábrica, para serem consultados durante a montagem dos equipamentos. Este fluxo de desenhos técnicos é constituído pelas seguintes etapas:

- 1) Lançamento dos desenhos técnicos de conjunto;
- 2) Impressão dos desenhos de todas as montagens e pré-montagens realizadas internamente;
- 3) Organização dos desenhos impressos por níveis de subconjuntos.
- 4) Levantamento de desenhos em falta e erros (verificação referências e atualizações);
- 5) Entrega dos desenhos técnicos aos operadores, para consulta durante a montagem.

Sendo *Engineer to Order* uma abordagem em que, a cada novo cliente, existe a necessidade de recriação do ponto de vista da engenharia, o procedimento descrito não acontece de forma contínua. A existência de constantes correções e melhorias no desenvolvimento de um produto customizado em função das necessidades de cada cliente origina a existência de uma significativa taxa de retrabalho nas etapas enumeradas.

Na fase **Define**, em primeiro lugar é apresentado um VSM geral da empresa, que ilustra todas as etapas pelas quais um projeto atravessa, desde o desenho do equipamento até à sua expedição - Figura 20. Depois deste enquadramento, o fluxo dos desenhos técnicos é ilustrado através do VSM apresentado na Figura 21. Neste VSM é analisado o fluxo dos desenhos técnicos dos 76 conjuntos que constituem um *Stacker Crane* monomastro, de onde são retirados os tempos correspondentes à preparação e verificação dos mesmos até serem entregues aos operadores mecânicos. Para uniformizar a quantidade de folhas de papel utilizadas relativamente a este equipamento, a contagem apresentada refere-se ao formato A4 em que, por exemplo, um desenho em formato A3 corresponde a duas folhas de papel A4.

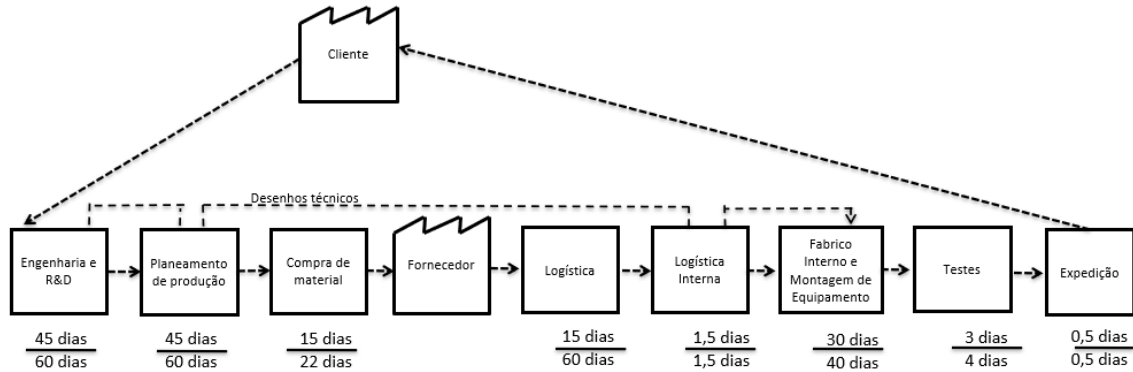


Figura 20 - Value Stream Mapping geral

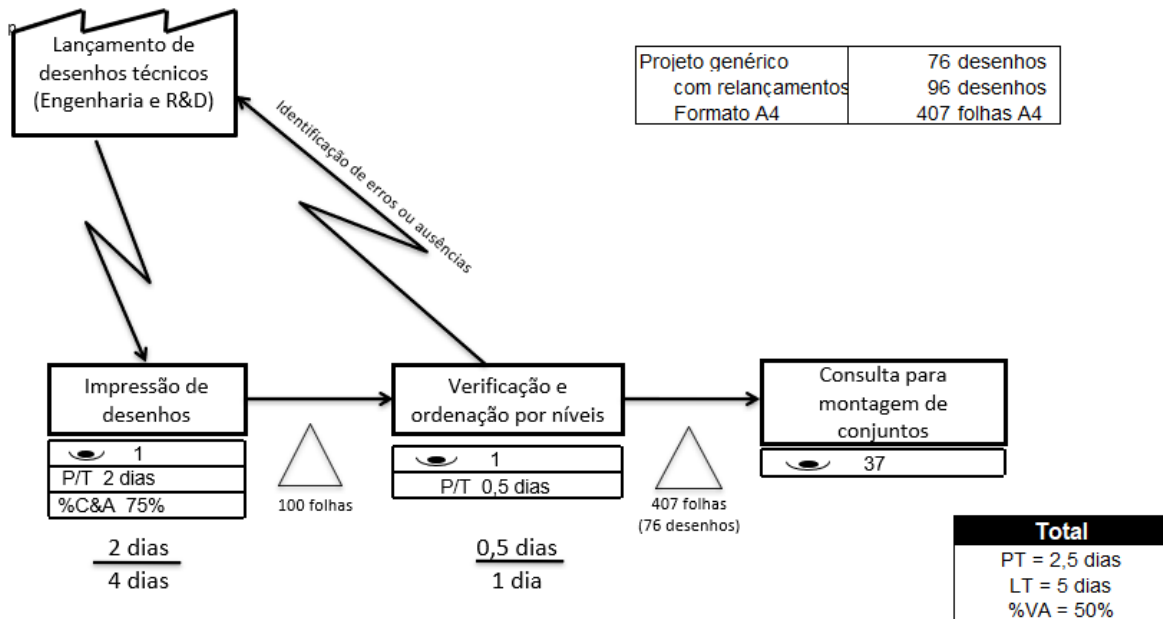


Figura 21 - Value Stream Mapping da preparação de desenhos técnicos - estado inicial

Da análise apresentada, verifica-se que o sucessivo lançamento de desenhos técnicos com novas atualizações e correções de erros, refletida no valor da percentagem de *Complete & Accurate* (%C&A), origina um ciclo entre as etapas de lançamento, impressão e verificação e ordenação de desenhos. O lançamento de desenhos técnicos com correções ou melhorias leva a que o número total de desenhos impressos seja aproximadamente 25% superior aos que seriam necessários. Neste caso de estudo, 20 desenhos de conjunto foram atualizados e relançados, o que corresponde ao equivalente a 142 folhas A4 utilizadas para desenhos repetidos. Pelo mesmo motivo, os *lead*

times (LT) das três etapas em ciclo aumentam e a percentagem de valor acrescentado neste processo é apenas de 50%. Do VSM retira-se também que, para o equipamento em estudo, existem o equivalente a 407 folhas A4 impressas que originam desarrumação nas bancadas de trabalho da fábrica, onde são armazenadas até serem solicitadas para consulta durante a montagem dos produtos, como se verifica na Figura 22.



Figura 22 - Acumulação de desenhos técnicos em papel

Para a fase **Measure**, faz-se o levantamento dos desperdícios associados ao processo descrito, que em nada acrescentam ao valor do produto. Os mesmos são divididos de acordo com os oito tipos de desperdícios identificados pela filosofia Lean, dos quais são identificados seis tipos de desperdícios Lean diferentes, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Oito tipos de desperdício Lean

Espera	- Tempo de impressão e ordenação dos desenhos técnicos para iniciar a montagem dos produtos ou, em caso de atualizações, a mesma ser retomada
Sobreprocessamento	- Ordenação hierárquica (por conjuntos e subconjuntos) dos desenhos técnicos, que chegam impressos por ordem aleatória, o que requer a análise cuidadosa de todas as BOM - Impressão de desenhos que acabam por não ser consultados pelo operador
Inventário	Acumulação de desenhos técnicos no local de trabalho até à chegada da data de início de montagem do equipamento (podendo chegar a vários meses), por vezes em locais não adequados (Figura 22)
Retrabalho	- Em caso de erro ou desatualização nos desenhos, as novas versões voltam a ser impressas. O ciclo repete-se em média três vezes em cada projeto; - Retrabalho na montagem mecânica de um equipamento caso a atualização de um desenho técnico tenha ocorrido após o início da mesma
Movimento	Repetição de deslocamentos para voltar a imprimir e analisar as novas versões de desenhos técnicos relançados posteriormente à impressão das versões desatualizadas (demonstrado no diagrama de esparguete apresentado na Figura 23)
Talento	Tarefa de impressão de desenhos entregue a um colaborador com outro tipo de funções
Sobreprodução	Nada a assinalar
Transporte	Nada a assinalar

Levantados os oitos tipos de desperdícios Lean que se verificam no fornecimento de desenhos técnicos impressos aos operadores de montagem, na fase **Analyze**, o desperdício de movimento é detalhado através do diagrama de esparguete da Figura 23. Neste diagrama, é exposto o percurso

percorrido pelos colaboradores envolvidos na disponibilização dos desenhos técnicos impressos às respetivas estações de trabalho, passando pelas etapas apresentadas no VSM da Figura 21. Dado o já referido sucessivo lançamento de atualizações de desenhos técnicos, o ciclo identificado no VSM da fase *Define* reflete-se também neste diagrama de Esparguete, no qual se verifica a repetição dos movimentos para a impressão, verificação e ordenação dos desenhos técnicos antes de serem entregues às estações de trabalho.

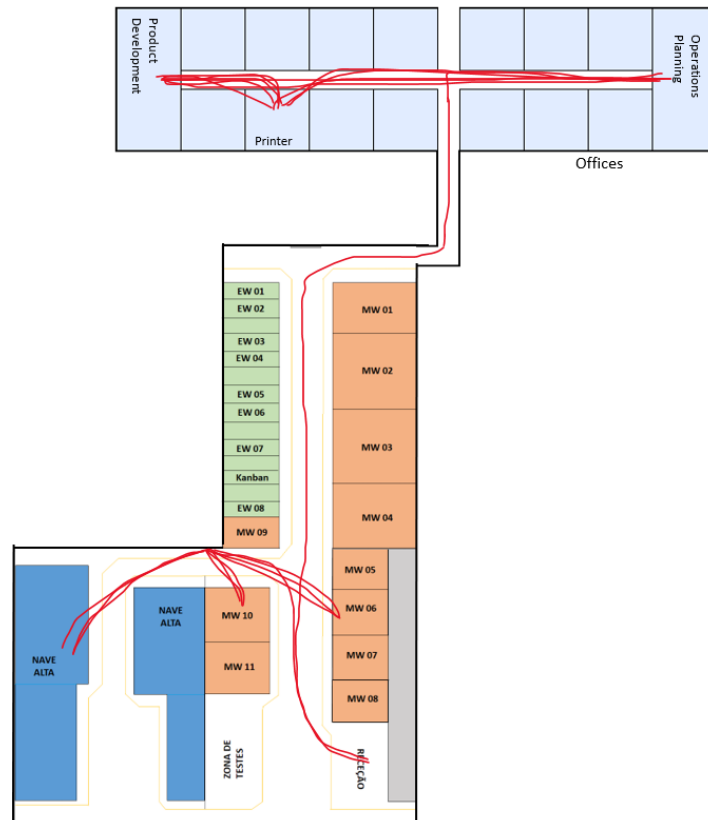


Figura 23 - Estudo de movimentos para disponibilização de desenhos técnicos aos operadores

A fase **Improve** começa por apresentar o estudo da nova solução, que tem em vista minimizar os desperdícios identificados na Tabela 4, como as perturbações causadas por relançamentos de desenhos técnicos, e reduzir o tempo de fluxo calculado no VSM do fluxo de desenhos técnicos. A solução estudada, descrita na Figura 24 através de um fluxograma, consiste na digitalização parcial do processo, tornando a consulta dos desenhos técnicos no chão de fábrica maioritariamente por via digital. A grande vantagem desta medida é que, para além de reduzir significativamente o tempo de impressão dos documentos e a acumulação dos mesmos no local de trabalho, permite tornar o lançamento de novas atualizações de desenhos técnicos um processo mais rápido, dinâmico e orientado ao operador. Assim, para os desenhos técnicos consultados por via digital, a versão disponibilizada ao operador é garantidamente a mais atualizada, uma vez que o novo desenho passa a ser lançado diretamente numa plataforma na qual o operador tem acesso, sem ter que passar pelos processos de impressão e ordenação.

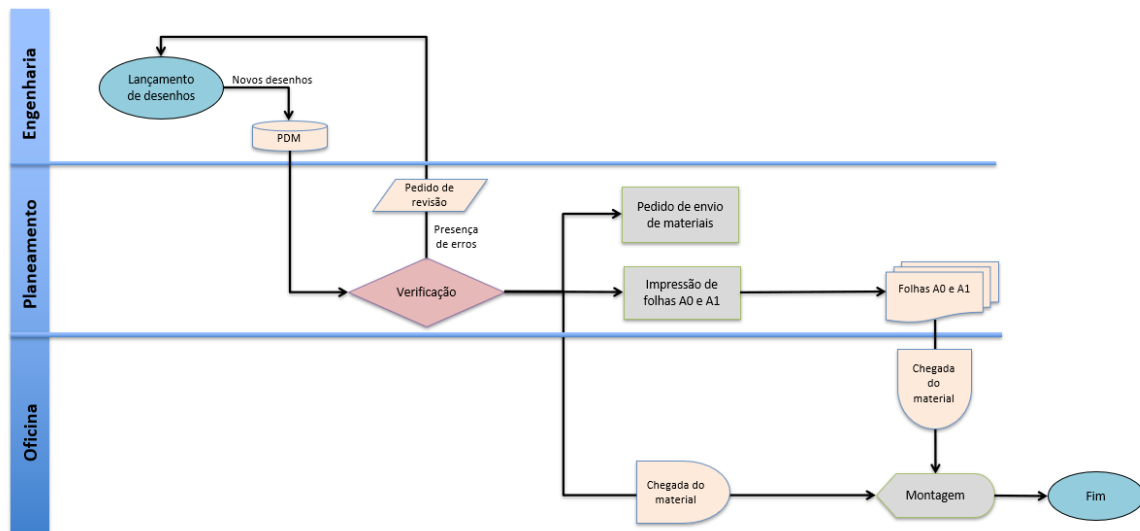


Figura 24 - Diagrama de fluxo para digitalização da disponibilização de desenhos técnicos aos operadores

Esta proposta prevê, contudo, que os desenhos contidos em folhas de papel de maior dimensão - formato A0 e A1 - continuem a ser impressos, uma vez que nesses casos o formato físico permite uma melhor e mais rápida visualização comparativamente aos monitores dos computadores junto às estações de trabalho. Verificou-se, pela análise das práticas dos colaboradores, que estes desenhos (normalmente desenhos gerais de conjunto de nível 1 ou 2) são consultados com mais frequência, e os únicos que são colocados junto ao equipamento a ser montado.

A implementação desta solução prevê o uso de um *Product Data Management* (PDM), uma plataforma digital de consulta de documentos transversal a todos os departamentos da empresa. Este *software* contém todos os desenhos técnicos de todos os equipamentos disponíveis, devidamente organizados. A digitalização proporciona várias vantagens, tais como:

- Facilitar a interação de todos os elementos incluídos no fluxo apresentado anteriormente;
- Redução de etapas e de tempo do fluxo, ao deixar de imprimir todos os desenhos técnicos de um determinado projeto;
- Garantia de que o desenho se encontra sempre na versão mais atualizada. Não existe margem para falhas na identificação de atualização de versões;
- Apresentação intuitiva e organizada de desenhos por níveis de subconjuntos (facilitando a procura ao utilizador), desde o momento de lançamento pela equipa de desenvolvimento do produto, como demonstrado na Figura 25;
- Rápida localização de desenhos através da pesquisa direta da sua referência;
- Limpeza e organização de bancas;
- Impacto ambiental, fruto da redução do uso de papel em aproximadamente 70%;
- Legibilidade do desenho, não sujeito às sujidades existentes na bancada de trabalho;
- Redução de desperdícios por movimento.

+	R1-5030046	Montagem Batente Superior da Plataforma
-	R1-6110398-02	Plataforma manutenção superior
	G000-D912-M12X40-8.8Z	PF CHC DIN912 M12x40-8.8 Zinc
	G000-D912-M6X16-8.8Z	PF CHC DIN912 M6x16-8.8 Zinc
	G000-D912-M6X45-8.8Z	PF CHC DIN912 M6x45-8.8 Zinc
	G005-D128A-12-Z	Anilha pressao DIN128A D12 zn
	G005-D128A-6-Z	Anilha pressao DIN128A D6 zn
-	R1-5014114	Suporte homem morto
	G000-D7985-M5X12-4.8Z	PF DIN 7985 M5x12-4.8 zinc
	G000-D912-M6X60-8.8Z	PF CHC DIN912 M6x60-8.8 Zinc

Figura 25 - Estruturação de desenhos por níveis de subconjuntos

A utilização de documentos em papel atrasa o fluxo de informação dentro de uma organização. Neste caso, este fator torna-se especialmente crítico perante o facto de que existe um conjunto de desenhos que são lançados mais do que uma vez, devido a correções de erros e ajustes de engenharia, como já referido. Estas correções podem originar atrasos na montagem de um equipamento na eventualidade de uma alteração assumir um papel de tal forma importante que force a suspensão da montagem, pelo que os impactos destas atualizações devem ser minimizados. Djassemi & Sena (2006) defendem que as empresas *paperless* – empresas em que o uso de papel é eliminado ou significativamente reduzido - proporcionam condições de trabalho que tornam a produção mais Lean, ágil e responsiva. O acesso a documentação digital e atualizada aos operadores torna o seu trabalho mais eficaz e produtivo, eliminando as barreiras físicas apresentadas.



Figura 26 - Consulta digital de desenhos técnicos

Para adotar a nova forma de trabalho, foi dada formação aos operadores mecânicos, onde tomaram conhecimento sobre todas as funcionalidades da nova plataforma e, como demonstrado na Figura 26, a proposta apresentada na fase anterior é implementada. No VSM da Figura 27 é ilustrado o novo mapa do processo de disponibilização de desenhos técnicos aos operadores.

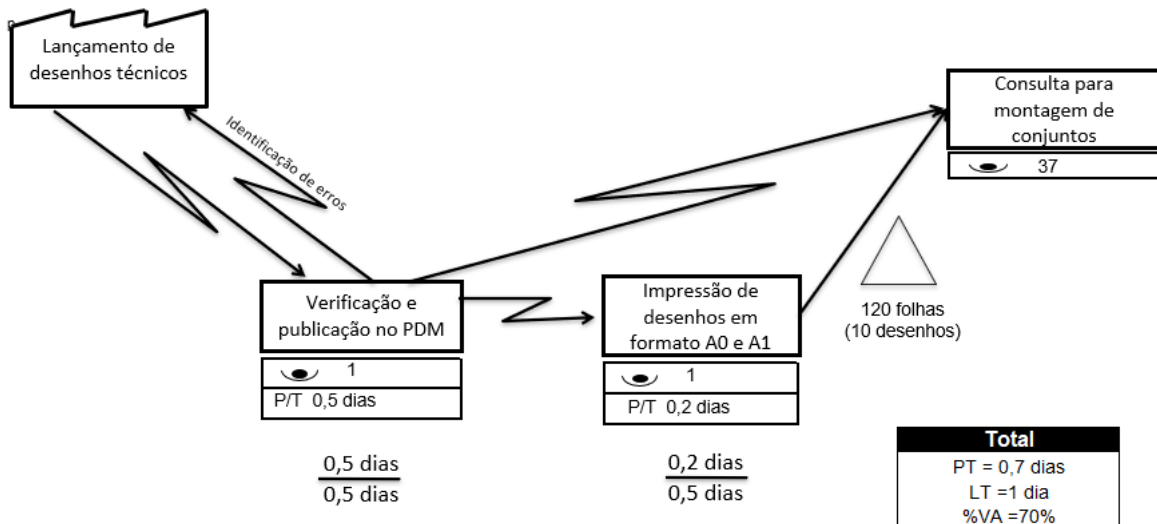


Figura 27 - Value Stream Mapping do fluxo de desenhos técnicos - estado final

Nesta proposta, o fluxo tem início no lançamento dos desenhos técnicos pela equipa de engenharia no PDM. A partir daí, a equipa de planeamento de produção faz diretamente o levantamento de ausências de desenhos e eventuais erros, e devolve essa informação à etapa anterior. Depois de feitas as correções, os desenhos seguem para dois recetores: O colaborador que faz a triagem dos desenhos em formato A0 ou A1 e imprime, e para o local de produção, onde são disponibilizados aos operadores mecânicos para consulta durante a montagem dos equipamentos.

Comparativamente ao VSM do estado inicial, verifica-se que o valor acrescentado do processo aumenta de 50% para 70% uma vez que, neste formato, o impacto causado pelos sucessivos lançamentos de atualizações de desenhos é bastante inferior. O número de folhas impressas é reduzido em aproximadamente 70%, passando de 407 para 120. Por essa razão, o *lead time* do processo decresce significativamente, passando de 5 dias para apenas 1 dia.

Para assegurar a manutenção e o bom funcionamento do novo PDM (fase **Control**), é escrita uma instrução de trabalho com todas as etapas necessárias para tirar o máximo partido do PDM, bem como a instrução de utilização da plataforma de visualização de ficheiros CAD associada ao mesmo. A instrução de trabalho, apresentada no APÊNDICE A, é distribuída pelos operadores mecânicos e demais colaboradores com necessidade de consulta deste tipo de ficheiros.

Ainda nesta fase é apresentado graficamente, na Figura 28, o tempo consumido durante o processo de preparação de desenhos técnicos para serem disponibilizados aos operadores mecânicos, nomeadamente o tempo de impressão de desenhos e de verificação e ordenação por níveis e subníveis. Neste gráfico é visível a importância que a digitalização do processo teve a esse nível.

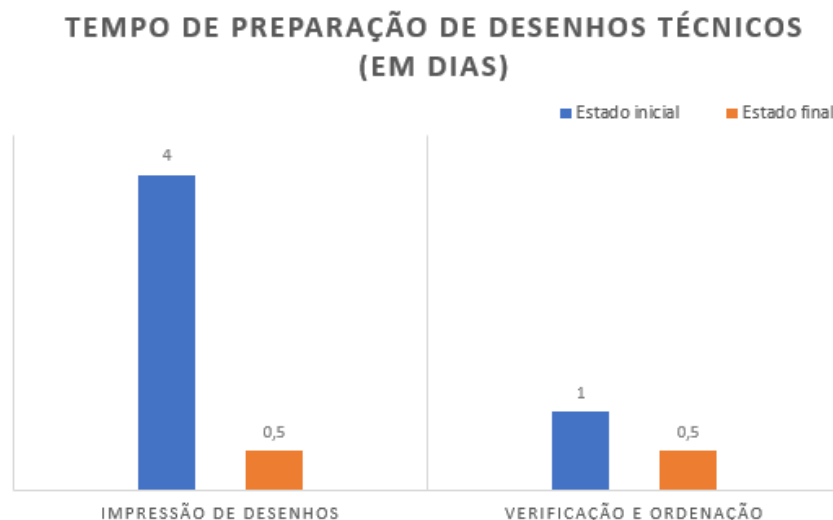


Figura 28- Tempo de preparação de desenhos técnicos, antes e depois da digitalização do processo

3.3. Logística Interna

Tabela 5 - Conjunto de ferramentas aplicadas para a implementação de melhorias no departamento de logística interna

<i>Define</i>	Diagrama causa-efeito; 5W2H
<i>Measure</i>	Medição de tempos para procura de materiais
<i>Analyze</i>	Identificação de ausências de materiais
<i>Improve</i>	Programa 5S; Gestão visual
<i>Control</i>	Documentação de alterações de processo, Gestão visual; Análise de ganhos

O terceiro e último projeto estruturado pela metodologia DMAIC incide sobre a redução de tempos não produtivos durante a montagem de equipamentos e a aproximação entre as equipas de logística e as necessidades dos operadores de montagem, algo que será naturalmente alvo de análise e melhoria com a aplicação do ciclo DMAIC e as ferramentas Lean inseridas.

Na fase **Define**, é realizado um diagrama de Causa-Efeito (Figura 29) que ilustra todos os problemas existentes no fluxo produtivo, o que leva ao aparecimento de atrasos na expedição dos equipamentos. Apesar de na ferramenta serem enumeradas causas de todas as origens que contribuem para este fator, a aplicação do ciclo DMAIC terá como alvo exclusivamente as causas relacionadas com o método, que estão diretamente ligadas à equipa de logística interna:

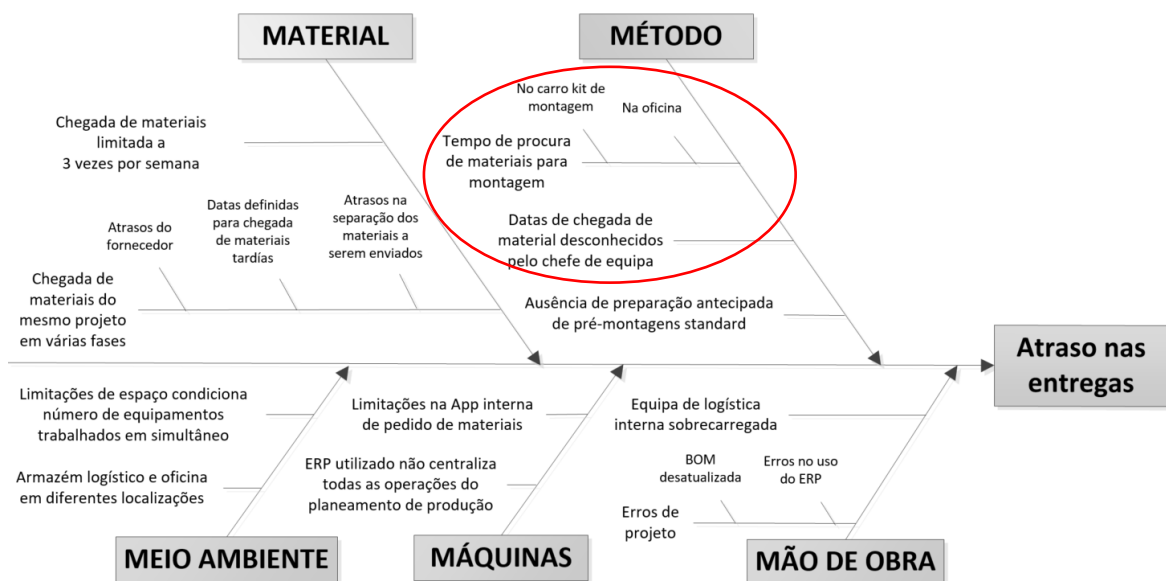


Figura 29 - Diagrama causa-efeito: Atrasos na entrega

Pela análise do diagrama causa-efeito, pode ser retirado um conjunto de ações para a redução do *lead time* da montagem dos equipamentos e cumprimento de prazos de expedição. No APÊNDICE B, esse plano de ações é apresentado, incorporado na ferramenta 5W2H. Dada a limitação de tempo e outros recursos, as ações desenvolvidas neste projeto irão incidir exclusivamente nas causas relacionadas com o método de trabalho assinaladas na Figura 29. Assim, as causas que contribuem para o atraso na expedição dos equipamentos que irão ser abordadas são:

- Inatividade por procura de materiais nos carros kit de montagem (usados pela equipa de logística interna para abastecer as estações de trabalho com as peças a serem montadas);
- Inatividade por procura de materiais que não se encontram ainda disponíveis no local de produção - Desconhecimento de datas de chegada de materiais;

Todas as causas apresentadas convergem para o processo de logística interna, responsável pelo fluxo de materiais depois da chegada ao local de produção. A equipa de logística interna faz a separação dos materiais provenientes do armazém logístico da empresa por equipamento ao qual são destinados, e dispõe-os em carros kit de montagem associados ao respetivo equipamento a ser montado. No caso dos *Stacker Crane*, por ser um equipamento que inclui um maior número de materiais diferentes, existem carros distintos para os materiais pertencentes à plataforma, à base e à coluna.

Conforme descrito anteriormente, numa organização *Engineer to Order*, os produtos são dimensionados com especificações diferentes consoante as necessidades de cada cliente, com materiais também diferentes, o que leva a que a maioria dos materiais seja comprada exclusivamente para um determinado projeto, em vez de para armazenamento em *stock*. Assim, os prazos de produção estabelecidos são influenciados por atrasos no abastecimento de materiais às estações de trabalho, o que se verifica frequentemente. Estes atrasos levam a que os materiais sejam enviados para o local de produção em diferentes fases, por razões que podem ter origem nos fornecedores ou na logística de envio de materiais. Outra causa de atrasos no cumprimento de prazos de montagem é o frequente lançamento de novas atualizações do produto, sendo que

muitas vezes correspondem a correções de erros de projeto. Assim, a montagem de um equipamento é iniciada sem estarem ainda disponibilizados todos os materiais necessários para a realizar. Esta situação exige ao operador o sentido de organização do seu trabalho de acordo com os materiais que se encontram ao seu dispor, de forma que evite, dentro do possível, paragens por falta de materiais.

Na fase **Measure** é estudado o tempo despendido na procura dos materiais durante a montagem de um equipamento, seja na zona de receção de materiais da empresa, seja no carro kit de montagem da respetiva estação de trabalho. Este problema, identificado no diagrama causa-efeito da fase **Define** como um dos fatores que contribuem para os atrasos na expedição, origina interrupções de trabalho e, conseqüentemente, leva ao aumento do tempo de montagem de um equipamento. Na Figura 30 encontra-se o estudo de tempos aplicado à montagem do conjunto “Plataforma e Cabina para *Stacker Crane* monomastro com garfos de comprimento *standard*”, no qual é calculada a média dos tempos cronometrados correspondentes às interrupções por procura de material, para cada conjunto mecânico. Estes valores seriam bastante inferiores se os materiais fossem dispostos de forma mais ordeira, com uma identificação mais visível, e os operadores tivessem conhecimento do conjunto de materiais que, seja por atrasos do fornecedor, seja no processo de preparação de material, ainda não se encontram disponíveis para montagem.

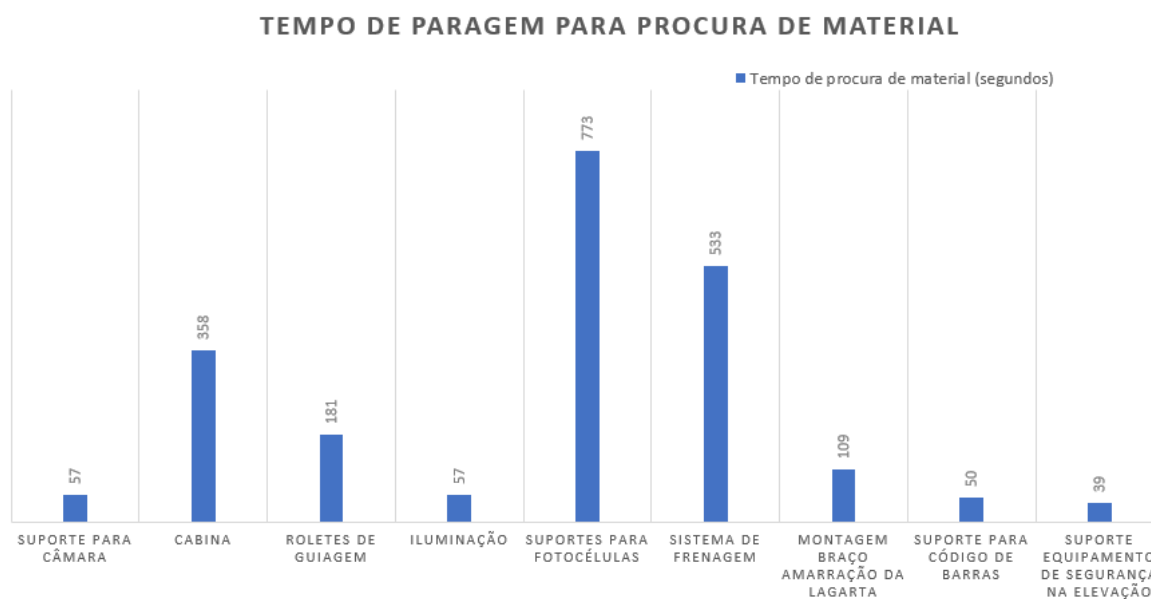


Figura 30 - Tempos de paragem para procura de material: Estado inicial

Da análise do gráfico, verifica-se que, para o tipo de plataforma em estudo, o tempo total das interrupções da montagem mecânica para procura de materiais é de, em média, 2 157 s (aproximadamente 36 min).

Na fase **Analyze** procura-se identificar as causas raiz que originam os tempos de paragem para a procura de material levantados na fase anterior. Para isso, é desenvolvida uma ferramenta que permite posicionar cada artigo relativamente à fase do seu abastecimento na estação de trabalho, entre as seguintes possibilidades: O artigo não foi comprado; o artigo foi comprado e não foi ainda entregue pelo fornecedor e o artigo encontra-se no armazém logístico e ainda não foi rececionado no local de produção. Esta ferramenta, apresentada na Figura 31, procura apoiar a gestão de equipas de produção e, por isso, para além de ser utilizada pelo departamento de logística interna,

é também destinada aos chefes de equipas de instalação mecânica e elétrica. Assim, os mesmos passam a ter acesso direto à lista de artigos ausentes no local de produção, ordenados por data prevista de chegada, enquanto anteriormente o acesso a esta informação era apenas possível com a consulta individual do estado dos materiais, o que comprometia a visão global dos assuntos pendentes e a rápida ação perante um imprevisto.

Artigo	Descrição	QtyOrder	Data Prevista	Data Real de Chegada	ElementDescription
R5-4220445	Bloco de aperto	19	30-09-21		Rotating Table
R5-4220447	VEIO MOTORIZAÇÃO	19	30-09-21		Rotating Table
R5-4220449	Prato de rotação	19	30-09-21		Rotating Table
R5-4220451	Veio roda	24	30-09-21		Rotating Table
R5-4220451	Veio roda	76	30-09-21		Rotating Table
R5-4224076	BASE DE APOIO	6			Rotating Table
R5-4224077	Base superior Rolamento	6	17-09-21		Rotating Table
R5-4224079	Chapa motorização	6	17-09-21		Rotating Table
R5-4224080	VEIO MOTORIZAÇÃO	6	07-10-21		Rotating Table
R5-4224089	Contra dentes	12	17-09-21		Rotating Table
R5-4224090	Contra batente	12	17-09-21		Rotating Table
R5-4224106	anilha espaçadora	6	17-09-21		Rotating Table
G003-CF-0022	PORCA CABEÇA MARTELO-M6-CANAL1	5400		27-01-21	Chain Conveyor
R2-0820986	Tampa Longarina Motora TR	60	19-02-21	28-01-21	Roller Conveyor
R2-0820987	Tampa Longarina Movida TR	60	19-02-21	28-01-21	Roller Conveyor
D01-0135	TAPA TOPOS D19.4/D17 mm	2600	05-03-21	29-01-21	Chain Conveyor
G000-D7504K-ST4.2.16-Z	PF a-rosca DIN7504K ST4.2x16 zn	530	04-02-21	29-01-21	Chain Conveyor
R3-0822025-13	Estrutura Suporte Motorização	3		04-02-21	Roller Conveyor
R3-0822025-13	Estrutura Suporte Motorização	12		04-02-21	Roller Conveyor
R5-0811181	Veio motor CCV reforçado	24	12-03-21	05-02-21	Chain Conveyor
R5-0811180-01	CASQUILHOS	192	19-02-21	11-02-21	Chain Conveyor
R5-0811180-02	CASQUILHO	192	19-02-21	11-02-21	Chain Conveyor
R5-0811180-03	CASQUILHOS	96	19-02-21	11-02-21	Chain Conveyor

Figura 31 - Ferramenta para consulta de datas de chegada de materiais

O que se pretende analisar é se os tempos de paragem por procura de material se devem maioritariamente à pouca organização e identificação de materiais no carro kit de montagem, ou se em muitos casos estes materiais não se encontram ainda no local de produção, seja por ainda não terem sido processados pela logística (controlo de qualidade, identificação e envio para o local de produção), seja por atraso do fornecedor, ou se incorretamente não foram comprados (permitindo uma ação mais rápida para solucionar o problema). Facultar uma visão global da lista de artigos indisponíveis contribui para um melhor fluxo de informação entre departamentos, tornando a mesma mais acessível e visual.

Este ficheiro consiste numa lista de registo de compra de todos os materiais que constituem cada produto, onde é feito o cruzamento de duas bases de dados: Uma fornecida pelo departamento de compras, onde se encontram os artigos comprados recentemente, e a segunda relativa aos materiais inseridos nas BOM dos equipamentos. Através da criação de uma chave única a cada artigo, o cruzamento desta informação dá acesso a dados úteis que contribuem também para organizar e sequenciar a montagem de conjuntos em função da data prevista de chegada de alguns artigos, reduzindo o número de horas não produtivas por paragem por ausência de material. A ferramenta dispõe ao utilizador os seguintes dados:

- Data prevista e confirmada (caso se aplique) para entrega dos materiais na empresa;

- Fornecedor e referência de ordem de compra;
- Referência e designação do artigo;
- Quantidade;
- Equipamento no qual está inserido.

A implementação desta ferramenta leva a concluir que existe uma quantidade considerável de artigos – aproximadamente 25% - que, à data de início de montagem do equipamento, não se encontram disponíveis no local de produção. Por essa razão, na fase seguinte – fase *Improve* – serão desenvolvidas ferramentas que atuem tanto na redução de interrupções de trabalho para procura de materiais no carro kit de montagem, como no acesso a informação atualizada de quais os materiais que já foram rececionados pela equipa de logística interna no local de produção, relativamente a um determinado equipamento, com vista ao aumento de produtividade na montagem mecânica e cumprimento das datas de expedição.

Perante os problemas levantados, a fase *Improve* é dividida em duas partes:

- Implementação do programa 5S nos carros kit de montagem, de forma a tornar mais rápido o acesso dos operadores aos materiais pretendidos;
- Desenvolvimento de técnicas de gestão visual para o operador ter a indicação de quais as peças que não tem ao dispor.

No que diz respeito à organização dos carros kit de montagem, o estado da fase inicial é apresentado na Figura 32. Conforme é possível verificar na imagem, a identificação dos materiais é muito pouco visível e em local desadequado, o que não permite uma rápida leitura da designação do artigo. Estas caixas encontram-se também empilhadas a uma altura demasiado elevada, comprometendo a segurança do operador. Para além disso, o acesso ao carro encontra-se obstruído, graças à existência de materiais no chão, precisamente do lado para o qual a maioria das caixas estão orientadas. A forma pouco criteriosa como são dispostos os materiais nos carros, para além de comprometerem a segurança do operador, comprometem também a produtividade, graças ao longo tempo de procura do artigo pretendido.



Figura 32 - Abastecimento de material às estações de trabalho: Estado inicial

Para implementar o programa 5S nos carros kit de montagem é estudada uma forma mais criteriosa e organizada de dispor os materiais, separando-os por conjuntos mecânicos, de forma a facilitar ao operador a procura dos mesmos, uma vez que desta forma têm antecipadamente conhecimento da zona do carro em que o artigo procurado se encontra. No APÊNDICE C encontra-se apresentada a instrução de distribuição de materiais no carro para o caso particular do equipamento estudado na fase *Measure* – Plataforma para *Stacker Crane* monomastro. Os componentes mecânicos normalizados não são distribuídos por conjuntos mecânicos, como acontece com os restantes. Para ajudar a sua identificação, estes são dispostos num carro de materiais diferente, identificados e ordenados por tamanho. No APÊNDICE D encontra-se o respetivo esquema de distribuição. Estes documentos são afixados em todos os carros kit de montagem.

A Tabela 6 apresenta de que forma é implementado o Programa 5S em cada uma das suas etapas:

Tabela 6 - Etapas da ferramenta 5S aplicadas ao abastecimento de materiais às estações de trabalho

Triagem	<ul style="list-style-type: none"> – Reavaliação dos conjuntos cujos materiais devem ser dispostos no carro kit de montagem, uma vez que, em alguns casos, as suas grandes dimensões levam a optar por uma forma de entrega alternativa; – Separação dos componentes mecânicos normalizados (parafusos, parafusos, porcas e anilhas) para serem alocados a um carro de materiais diferente.
Arrumação	<ul style="list-style-type: none"> – Criação de locais específicos nos carros kit de montagem para a disposição de artigos pertencentes a um determinado conjunto - Apêndices C e D;
Limpeza	<ul style="list-style-type: none"> – Substituição de embalagens de cartão e sacos de plástico fornecidos pelo fornecedor por caixas plásticas apropriadas, sempre que possível;
Normalização	<ul style="list-style-type: none"> – Identificação de todas as caixas de material por conjunto e referência, com vista à rápida leitura por parte do operador;
Autodisciplina	<ul style="list-style-type: none"> – Acompanhamento do processo e formação; – Utilização do espaço da prateleira destinado a cada conjunto para dispor as respetivas pré-montagens, ao invés de acumular as mesmas em outros espaços da estação de trabalho, o que origina maior desorganização.

A implementação do programa 5S nos carros kit de montagem é apresentada na Figura 33, na qual se pode verificar também os esquemas da distribuição dos materiais afixados nos mesmos.



Figura 33 - Implementação da ferramenta 5S nos carros kit de montagem

A segunda etapa desta fase propõe fornecer ferramentas de gestão visual aos operadores para dar conhecimento de quais os materiais que, à data, não se encontram no local de produção. Para isso, é disponibilizado ao operador, juntamente com o carro kit de montagem, uma lista com todos os artigos que constituem o equipamento, e a confirmação ou não da sua receção, fornecida pela logística interna. Desta forma, quando o operador tem dificuldades em encontrar o artigo procurado no carro kit de montagem, deve consultar a lista para confirmar se o artigo se encontra disponível, evitando assim sair do seu local de trabalho para obter essa informação.

Para o mesmo propósito, é ainda desenvolvida uma nova ficha de identificação de equipamentos (apresentada na Figura 34) para o chão de fábrica, na qual está contido um campo que destaca os artigos em falta para finalizar a montagem do equipamento em questão e dar início à fase de testes – a último processo a ser feito num equipamento antes da sua expedição. Esta introdução desta ficha tem, portanto, o intuito de dar visibilidade a todos os intervenientes das questões pendentes que podem levar ao incumprimento da data prevista de expedição, facilitando o fluxo de informação. Este documento é apresentado no APÊNDICE E. Ao dar acesso a este tipo de informações aos colaboradores através destas duas ferramentas, pretende-se que estes se tornem mais autónomos e tenham maior capacidade de resposta face às adversidades, ao invés destes obstáculos se tornarem um momento de paragem por procura ou espera de materiais.

N.º Projeto / Cliente	E80300115		
Designação do equipamento	RGV		
Artigo	R1-7110236	Quantidade	1
Data de início de testes:			
Data objetivo de expedição:	24/8	Montagem Mecânica	<input type="checkbox"/>
		Montagem Elétrica	<input type="checkbox"/>
Lista de pendentes:			
Mecânica		Elétrica	
<ul style="list-style-type: none"> • Suporte resistência de montagem 		<ul style="list-style-type: none"> • Antena 	

Figura 34 - Identificação de equipamentos com sinalização de artigos em falta

No âmbito da fase **Control**, para assegurar que as práticas implementadas são continuadas, documentou-se o procedimento de logística interna com a inclusão das novas práticas para a organização dos materiais nos carros kit de montagem de acordo com o esquema desenvolvido, bem como a anexação de todos os documentos referidos nos carros. Um excerto desse procedimento encontra-se no APÊNDICE F. Para avaliar continuamente o cumprimento das normas descritas nesse documento, é também desenvolvida uma nova versão da ficha que contém os parâmetros alvo de avaliação nas auditorias mensais 5S, apresentado no APÊNDICE G. Com essa nova versão, as auditorias passam a ter em especial atenção a manutenção das melhorias implementadas, nomeadamente a identificação do material ou conjunto que está contido em cada caixa, a existência de materiais fora do local apropriado, entre outros.

Com o intuito de criar um plano de ações estruturado, de modo a incentivar a manutenção das ferramentas de gestão visual implementadas e o bom funcionamento do novo método de abastecimento de materiais para montagem às estações de trabalho, bem como criar ações adicionais que promovam altos níveis de produtividade e um bom fluxo de trabalho, é elaborado um quadro *Kamishibai*, mais uma ferramenta de gestão visual. Este quadro, conforme exposto na Figura 35, contém cartões nos quais são enumeradas algumas ações relacionadas com um conjunto de temas: problemas recorrentes, falta de matéria-prima, oportunidades de melhoria e

padronização, fluxo de trabalho, programa 5S, segurança e limpeza e desperdício. Estas necessidades são recolhidas em *Gemba Walks* realizados quinzenalmente, específicos a cada uma das equipas presentes no chão de fábrica (entre as quais a equipa de logística interna).

GEMBA WALK	Problemas Recorrentes	Falta de Matéria Prima	Oportunidades de Melhoria e Padronização	Fluxo de Trabalho	Programa 5S	Segurança e Limpeza	Desperdício	Emprego	Outros
QE e Eletrificação									
Logística Interna									
Montagem STK									
Montagem Outros									

Figura 35 - Quadro *Kamishibai*

A Figura 36 apresenta, para cada conjunto mecânico, o tempo médio de interrupção de trabalho dos operadores mecânicos para procura de materiais após a implementação das técnicas de gestão visual mencionadas e o programa 5S nos carros kit de montagem, em comparação com os tempos obtidos antes da implementação desta ferramenta nos processos de logística interna (já apresentados na fase *Measure*). Naturalmente, confirma-se que a organização e identificação dos materiais nos carros kit de montagem e o acesso à informação atualizada no que toca à disponibilidade dos mesmos tornam os tempos de paragem por procura de materiais muito inferiores. Na Figura 37 são apresentados os tempos totais dedicados à procura de materiais para a montagem da “Plataforma e Cabina para *Stacker Crane* monomastro com garfos de comprimento *standard*”, onde é possível verificar o impacto das ferramentas aplicadas. Antes do plano de melhoria ser aplicado, o estudo de tempos realizado na fase *Measure* indicou que, para a montagem desta plataforma, o tempo médio de interrupção de trabalho por procura de materiais era de 2157 s (aproximadamente 36 min). Após a implementação das referidas ferramentas, o tempo médio desperdiçado por procura de materiais passa a ser 819 s (13,7 min), resultando num decréscimo de 62%, como demonstrado na Equação 13.

$$1 - \frac{819}{2157} = 0,62 \quad \text{Equação 13}$$

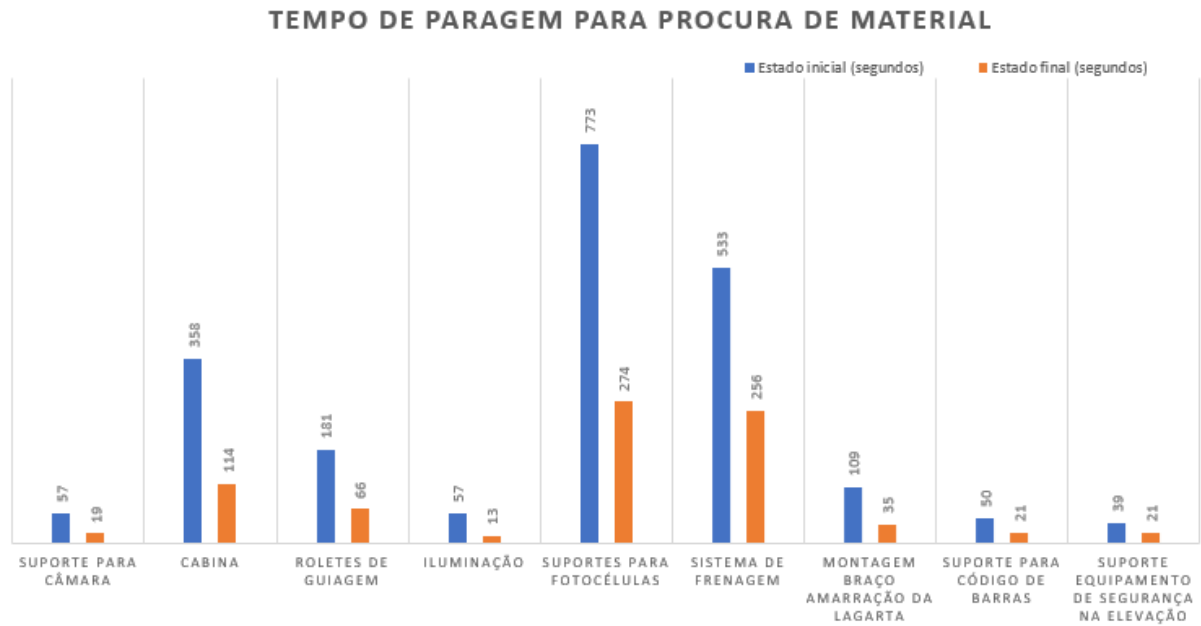


Figura 36 - Tempos de paragem para procura de material por conjunto mecânico: Antes e depois da melhoria



Figura 37 - Tempo total de paragem para procura de material: Antes e depois da melhoria

página propositadamente em branco

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para avaliar a relevância dos resultados atingidos com a implementação da filosofia Lean Seis Sigma numa empresa *Engineer to Order*, apresentados na fase *Control* das estruturas DMAIC aplicadas nos diferentes projetos abordados anteriormente, a sua importância é discutida neste capítulo. No primeiro subcapítulo, as questões de investigação são relançadas, de forma que se apure se as mesmas foram respondidas ao longo do trabalho. É também discutido o conhecimento acrescido que este trabalho representa para o estudo do tema. No segundo subcapítulo, realiza-se uma análise mais detalhada dos resultados conquistados em cada um dos três projetos. Por fim, são apresentados os fatores da presente dissertação que acrescentam valor ao conjunto de informação presente nos artigos científicos relativos a este tema.

4.1. Discussão de resultados da metodologia aplicada

No primeiro capítulo foram apresentadas duas questões que motivam o desenvolvimento deste trabalho. A primeira questão foca-se na filosofia Lean Seis Sigma e as suas vantagens comparativamente à aplicação das filosofias Lean e Seis Sigma separadamente. A segunda questão de investigação está relacionada com o papel da metodologia DMAIC para reduzir desperdícios num sistema produtivo.

Relativamente à primeira questão, a filosofia Lean Seis Sigma foi aplicada no contexto de uma empresa *Engineer to Order*, em todos os projetos apresentados. Para isso, foi selecionado um conjunto de ferramentas Lean Seis Sigma adequadas para definir, medir, analisar, melhorar e controlar os processos selecionados, no seguimento da ferramenta do Seis Sigma, DMAIC.

Conforme o que foi concluído com a leitura da bibliografia, a complementaridade dos ideais Lean e Seis Sigma representa uma solução válida para a melhoria de processos num sistema produtivo, tornando a abordagem mais metódica e robusta na redução de desperdícios e a organização mais competitiva. De facto, os resultados atingidos na aplicação de uma empresa com as referidas características, apresentados na fase *Control* de cada um dos projetos, confirma que a integração das ferramentas Lean Seis Sigma selecionadas conduz à obtenção de resultados positivos que contribuem para a sustentabilidade da empresa estudada. O Lean Seis Sigma confirma-se como um método mais dinâmico e capaz de responder à competitividade do mercado, que inclui um conjunto de ferramentas que suportam as análises feitas ao sistema produtivo e as ações para o melhorar, de forma a tornar os processos mais eficientes.

No que diz respeito à segunda questão, o desenvolvimento deste trabalho espelha a importância do uso do DMAIC para uma intervenção mais assertiva na redução de desperdícios de um sistema produtivo. Esta metodologia levou a que a abordagem aos três projetos fosse mais bem planeada e estruturada, evitando a implementação de alterações no processo que eventualmente poderiam vir a relevar-se desajustadas ou precipitadas. Assim, dividir uma tarefa complexa em várias tarefas elementares (definir, medir o impacto e analisar as causas do problema em estudo) leva a que as ações implementadas tenham uma base mais sólida e resultados mais previsíveis, privilegiando em todo o processo aquilo que foi definido como foco do estudo na fase *Define*. As tabelas referentes ao conjunto de ferramentas utilizadas em cada um dos projetos (Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 5) demonstram que o DMAIC tem um papel importante para definir o método seguido na abordagem

ao problema, em que cada etapa desta metodologia é devidamente planeada, utilizando ferramentas e técnicas adequadas para atingir o seu propósito.

O estudo da aplicação do Lean Seis Sigma no contexto específico de uma organização *Engineer to Order* representa um acréscimo de conhecimento à cerca desta filosofia. De facto, os resultados apresentados, tanto ao nível de produtividade como na redução de desperdícios, demonstram a importância que teve a aplicação da metodologia DMAIC com a integração de ferramentas Lean no caso particular de uma empresa com esta abordagem produtiva, e a forma como a variabilidade entre projetos de clientes e imprevisibilidade características a este tipo de organizações é bem gerida com o contributo das ferramentas Lean Seis Sigmas selecionadas. Esta metodologia assume um papel essencial para reduzir o impacto destes fatores inerentes à abordagem *Engineer to Order*.

Este trabalho vem também salientar a grande importância de um bom fluxo – nomeadamente fluxo de informação - entre processos numa organização. Nos três projetos apresentados ao longo do trabalho, o fluxo de informação foi definido como um dos principais fatores que contribuíram para a existência de ineficiências nos processos abordados. A intervenção de melhoria, através da metodologia aplicada, permitiu implementar práticas que privilegiaram uma transmissão contínua e eficaz de informação entre departamentos e equipas, o que se reflete nos resultados já apresentados.

4.2. Análise individual dos projetos

A apresentação de resultados, à semelhança do capítulo de métodos e aplicação, será dividida nos três projetos desenvolvidos: Operação de corte de matéria-prima para a produção de longarinas, consulta de desenhos técnicos e logística interna.

Operação de corte de matéria-prima para a produção de longarinas

No primeiro projeto, o objetivo proposto é criar um mecanismo de gestão de matéria-prima ajustado às características do processo de corte para produção de longarinas, minimizando o desperdício de material.

Neste projeto, a estrutura DMAIC foi fundamental para, em primeiro lugar, reunir esforços para realizar um levantamento completo de todas as causas que levam ao desperdício de material no corte de perfis de alumínio. Dessa análise conclui-se que o desperdício de matéria-prima era causado não só pelo cálculo não otimizado de quantidade de perfis para a produção de longarinas, na fase de planeamento de produção, como também por fatores como a existência de defeitos superficiais nos perfis, lacunas no controlo do inventário de sobras de corte, problemas na transmissão de indicações de corte aos operadores, entre outros. A exposição de todas estas causas é importante para, na fase *Improve*, desenvolver uma ferramenta completa constituída não só pela funcionalidade de cálculo da quantidade mínima de perfis de alumínio para cada projeto, como também para complementar com outras funcionalidades adicionais cruciais para a redução de desperdício de material neste processo, nomeadamente a gestão de inventário de sobras e a apresentação melhorada do esquema de corte obtido pelo modelo de otimização.

Para estudar o impacto do modelo de otimização no planeamento de produção, é escolhido um caso de estudo em que, antes do início da intervenção neste processo, a quantidade prevista de perfis consumidos é 70. Com recurso ao modelo de otimização, verificou-se que apenas 62 perfis

seriam necessários obter as mesmas longarinas. Assim, as sobras de corte são reduzidas em 63,8% o que, do ponto de vista financeiro, representa uma poupança de 1360€ na compra de perfis de alumínio, 11,4% do custo total inicial.

Ao contrário do que se verificava quando os esquemas de corte eram determinados sem auxílio a uma ferramenta de cálculo, existe um elevado número de padrões de corte diferentes para este projeto, o que leva a concluir que apenas com recurso a um método de apoio à decisão é possível atingir a combinação que minimiza o número de perfis de alumínio utilizados.

Consulta de desenhos técnicos

Para o segundo projeto, o objetivo proposto é simplificar e reduzir os desperdícios do processo de disponibilização de desenhos técnicos aos operadores de montagem. À semelhança do projeto anterior, a metodologia DMAIC introduziu um método padronizado para abordar o problema, desta vez com a possibilidade de integrar três ferramentas e métodos Lean e fazer um levantamento dos oito desperdícios categorizados de acordo com a mesma filosofia.

A abordagem a este processo inicia-se com o desenho de um VSM, uma ferramenta *Lean* que permite identificar visualmente as atividades que geram desperdício numa cadeia de valor e detetar oportunidades de melhoria. Através desta ferramenta verifica-se a existência de uma percentagem significativa de retrabalho, provocado pelo frequente lançamento de novas atualizações referentes a desenhos técnicos previamente impressos, o que origina um ciclo entre as três primeiras etapas do processo. Por sua vez, a repetição destes processos faz multiplicar os tempos de ciclo correspondentes, bem como os desperdícios de movimento e inventário, os quais são identificados na fase *Measure*, juntamente com outros tipos de desperdício Lean. Na fase *Improve*, a ferramenta VSM é novamente usada, através da qual é desenhado o novo mapa de processo. Nesta solução, o fluxo de desenhos técnicos passa a ser feito maioritariamente de forma digital e alguns processos são reposicionados no mapa de valor. A verificação de erros nos desenhos é um processo que passa a ser também feito digitalmente, evitando que a impressão de desenhos seja realizada mais do que uma vez, bem como os restantes desperdícios associados ao retrabalho causado pelos lançamentos de novas atualizações de desenhos técnicos. Esta alteração tem um impacto positivo nos *lead times* do processo de disponibilização de desenhos técnicos aos operadores mecânicos: A impressão dos desenhos, por passar a ser feita apenas em casos excecionais, é um processo que antes da intervenção tinha a duração média de 4 dias para o produto estudado, e passa a ter a duração de apenas 0,5 dias; por sua vez, a ordenação dos desenhos por níveis de subconjuntos é eliminada do mapa de processo e a análise dos mesmos para levantamento de eventuais erros passa a ser feita digitalmente, reduzido em 50% a sua duração (passando de 1 dia para 0,5 dias).

Assim, o objetivo proposto para este projeto é cumprido uma vez que, com o auxílio do VSM inicial e futuro, o novo fluxo dos desenhos técnicos, desde que são lançados até serem disponibilizados aos operadores para consulta durante a montagem dos equipamentos é simplificado e perfeitamente enquadrado com a era digital atual e os meios tecnológicos que existem ao dispor nas organizações. Desta forma, o novo processo de disponibilização de desenhos técnicos não só contribui para um fluxo de informação mais rápido entre departamentos e com maior capacidade de resposta perante as necessidades que podem surgir ao operador durante a montagem, como minimiza a entropia causada pelo relançamento de novas atualizações, algo que acontece frequentemente numa empresa *Engineer to Order*. Esta é também uma solução que, para além de contribuir para uma maior organização e limpeza no local de trabalho com a redução da utilização

do papel para transmitir informação, tem também uma componente ambiental muito importante, um fator cada vez mais valorizado no meio industrial atual.

Logística Interna

No último projeto, o objetivo estabelecido foi fornecer aos operadores condições que promovam um fluxo de trabalho contínuo através da melhoria da acessibilidade aos materiais de montagem, de forma a tornar os *lead times* de produção mais competitivos e evitar atrasos na expedição dos produtos.

No seguimento da estrutura DMAIC, o primeiro passo foi levantar todas as causas que originavam o não cumprimento das datas prevista de expedição de produtos através do diagrama de causa e efeito. Numa primeira abordagem às causas levantadas, foram definidas ações através da ferramenta 5W2H. Esta fase – fase *Define* – foi importante para uma reflexão mais profunda das causas que originam este problema e estudar a influência de razões paralelas àquelas que são mais visíveis numa primeira análise. Na fase seguinte, a duração das interrupções de trabalho dedicadas à procura de materiais relativamente ao caso estudado (que podem ou não estar disponíveis para montagem) foram determinadas, dados que ajudam a entender a importância de abordar o problema. A fase de análise de causas motivou o desenvolvimento de uma nova ferramenta para analisar, de forma mais intuitiva ao utilizador, se os artigos procurados pelos operadores se encontravam ou não no local de produção e, se não, qual a data de chegada indicada pelo fornecedor. A partir desta ferramenta conclui-se que seria tão importante intervir na organização da forma como os materiais de montagem são fornecidos nas estações de trabalho, como em fazer chegar ao operador, de forma eficaz, a informação de quais os conjuntos que, por motivos externos ou internos à empresa, ainda não se encontram disponíveis no local de produção, o que interfere no sequenciamento do seu trabalho. Para tal, recorre-se a duas ferramentas Lean para atuar nestas duas vertentes: O Programa 5S para distribuir os materiais de montagem de forma criteriosa, organizados por conjuntos mecânicos no carro kit de montagem; e a gestão visual para tornar acessível ao operador a lista de materiais presentes no carro kit de montagem e materiais pendentes, permitindo uma melhor gestão do seu trabalho. Para completar o ciclo DMAIC, garantindo que as ferramentas Lean implementadas são mantidas ao longo do tempo, o atualizado procedimento de logística interna é documentado. Adicionalmente, é criada mais uma ferramenta de gestão visual para incentivar a manutenção do programa 5S, bem como eventualmente criar ações adicionais para o seu bom funcionamento.

A implementação da filosofia Lean Seis Sigma no departamento de Logística Interna leva a que a duração total das interrupções de trabalho para procura de material de montagem do produto estudado seja reduzida em 62%. No entanto, para além dos benefícios diretos na redução de tempo não produtivo e maior fluidez no fluxo de trabalho, a melhoria de condições de trabalho que estas alterações proporcionam representa um aumento de motivação nos trabalhadores o que, apesar de não ser quantificado, tem um impacto positivo na produtividade. Esta solução tem também um importante contributo para a segurança dos colaboradores, uma vez que a ausência de critério na disposição de materiais nos carros kit de montagem não permitia a avaliação dos riscos de algumas práticas que colocavam em perigo o operador, nomeadamente no difícil acesso a certos artigos mais pesados. Este fator, juntamente com a disposição de materiais no chão que obstruíam o acesso ao carro, conforme demonstra a Figura 32, aumentavam os riscos de ocorrer um acidente de trabalho no acesso do operador a este tipo de artigos.

5. CONCLUSÃO

No último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas do desenvolvimento deste trabalho, bem como as dificuldades encontradas ao longo do trajeto e algumas propostas que podem ser desenvolvidas futuramente para complementar a aplicação desta filosofia.

5.1. Conclusões finais

Este estudo é desenvolvido com o intuito de compreender as vantagens da filosofia Lean Seis Sigma, através da sua aplicação em contexto real, bem como o papel da metodologia DMAIC na redução de desperdícios de um sistema produtivo. Para isso, são desenvolvidos três projetos em diferentes setores, em que o DMAIC é usado para estruturar o plano de melhoria em cada um, e no qual são integradas ferramentas Lean Seis Sigma para o cumprimento de cada fase do ciclo DMAIC. Dada a diferente natureza dos projetos, cada um é abordado de forma independente para responder ao seu objetivo específico proposto.

Em primeiro lugar, o processo de corte de matéria-prima para a produção de longarinas é analisado, no qual a recolha de dados relativamente ao desperdício de material identifica uma oportunidade de melhoria na redução de sobras de corte. Depois de, na fase *Analyze*, serem identificadas todas as causas que contribuem para este problema, através de um diagrama de causa e efeito, é desenvolvida uma nova ferramenta de gestão de matéria-prima. Esta ferramenta inclui um modelo de otimização em programação linear para garantir que o número de perfis usados para corte é minimizado, bem como outras funcionalidades para responder às necessidades levantadas na fase anterior, nomeadamente promotoras de um melhor fluxo de informação entre as equipas, neste processo.

No segundo projeto, procura-se simplificar o fluxo de desenhos técnicos (desde o seu lançamento até serem entregues aos operadores), uma vez que o uso abundante de papel implica alguns desperdícios de recursos que são dispensáveis nos dias de hoje, tendo em conta os meios tecnológicos ao dispor. Assim, o VSM é a ferramenta que permitiu desenhar o mapa do processo inicial, identificar oportunidades de melhoria e, depois de aprofundados e detalhados os desperdícios envolvidos, desenhar um novo processo, mais simplificado e predominantemente digital.

No último projeto faz-se o levantamento de todas as causas que originam atrasos na expedição dos produtos. Depois de uma extensa análise, da qual resulta um plano de ações 5W2H, define-se o objetivo de reduzir a duração das interrupções de trabalho para procura de materiais, o que, mais uma vez, é fundamentado pela recolha de dados quantitativos, sublinhando a sua importância. A análise a este projeto revela que as interrupções ocorrem por duas razões: Ausência de critério no abastecimento de materiais às estações de trabalho e desconhecimento de quais os materiais indisponíveis para montagem. Desta forma, foram implementadas as ferramentas 5S, para melhorar a forma como os materiais são dispostos ao operador, diminuindo o tempo de procura do artigo pretendido, e gestão visual, para dar visibilidade ao operador de quais os artigos pendentes para montagem, de forma a gerir melhor o seu trabalho. Na fase de controlo, recorre-se ainda à gestão visual para promover o bom funcionamento das duas ferramentas Lean implementadas ao longo do tempo.

Em todos os projetos descritos, verifica-se que um dos pilares para a melhoria de um determinado sistema produtivo é identificar e eliminar ineficiências no fluxo de informação e/ou materiais entre equipas ou departamentos, algo que estava na origem dos desperdícios identificados nos três projetos estudados. Para isso, as ferramentas Lean como o VSM ou a gestão visual assumem um papel fundamental de ligação entre processos.

No entanto, quando estas filosofias são aplicadas em simultâneo, verifica-se a capacidade de promover uma abordagem organizada e rigorosa aos problemas. A poupança de recursos financeiros e materiais, simplificação de processos e redução de *lead times* que foram atingidos no desenvolvimento deste trabalho tornam evidentes os benefícios da aplicação do Lean Seis Sigma. Contudo, face à exigência da abordagem, é necessário o apoio da gestão de topo e a abertura dos colaboradores para levar a cabo um estudo aprofundado e eficaz, que contempla não só a implementação da melhoria em si como uma detalhada definição do problema e posterior manutenção do seu bom funcionamento.

As três fases da metodologia DMAIC que antecedem a implementação da melhoria (*Define – Measure – Analyze*) têm, ao longo deste estudo, especial importância na compreensão das características da abordagem produtiva *Engineer to Order* e correspondente adaptação das ferramentas e técnicas aplicadas. Esta característica torna o processo mais desafiante devido aos obstáculos impostos pela variabilidade entre projetos. Assim, os novos métodos aplicados neste tipo de empresas têm que ter a flexibilidade de incorporar a variação das características dos produtos ou processos desenvolvidos, bem como eventuais imprevistos, o que acaba por ocorrer com frequência ao longo do projeto, nomeadamente em alterações ao projeto mecânico dos produtos e atrasos e erros na entrega de materiais por parte do fornecedor.

5.2. Limitações e investigação futura

Ao longo deste estudo houve uma limitação que, apesar de não ter sido impeditiva para o desenvolvimento do trabalho, acaba por condicionar o acompanhamento da evolução do processo e recolha de resultados - a resistência de alguns colaboradores às alterações do método de trabalho.

No que diz respeito ao desenvolvimento de trabalho futuro, considera-se que a implementação do programa 5S na forma como as sobras de corte de perfis de alumínio são armazenadas é importante para tornar a sua reutilização mais intuitiva e célere. Adicionalmente, sugere-se o alargamento do programa 5S aplicado no projeto relativo à logística interna, implementado no conjunto “Plataforma e Cabina para *Stacker Crane* monomastro com garfos de comprimento *standard*”, para os restantes equipamentos desenvolvidos na empresa, reformulando o APÊNDICE C para os materiais de montagem dos restantes produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguezoul, A., & Nyongue, A. (2012). A preliminary analysis on Lean Six Sigma application in healthcare. *9th International Conference on Service Systems and Service Management - Proceedings of ICSSSM'12*, 714–717. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2012.6252333>
- Ahmed, Selim. (2019). Integrating DMAIC approach of Lean Six Sigma and theory of constraints toward quality improvement in healthcare. *Reviews on Environmental Health*, 34(4), 427–434. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0003>
- Ahmed, Sohel, & Chowdhury, S. I. (2018). Increase the Efficiency and Productivity of Sewing Section through Low Performing Operators Improvement by using Eight Wastes of Lean Methodology. *Global Journal of Researches in Engineering*, 18(2), 44–60.
- Angie Lin Boyer. (2018). *What is "Waste" in Lean Manufacturing?* Lean Manufacturing. <https://tulip.co/blog/8-wastes-of-lean-manufacturing/>
- Antony, J., Snee, R., & Hoerl, R. (2017). Lean Six Sigma : Yesterday , Today and Tomorrow. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(7), 1073–1093. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2016-0035>
- Bateman, N., Philp, L., & Warrender, H. (2016). Visual management and shop floor teams – development , implementation and use. *International Journal of Production Research*, 54(24), 7345–7358. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1184349>
- Chen, M., & Lyu, J. (2009). A Lean Six-Sigma approach to touch panel quality improvement. *Production Planning and Control*, 20(5), 445–454. <https://doi.org/10.1080/09537280902946343>
- Cherri, A. C., Arenales, M. N., Yanasse, H. H., Poldi, K. C., & Gonçalves Vianna, A. C. (2014). The one-dimensional cutting stock problem with usable leftovers - A survey. *European Journal of Operational Research*, 236(2), 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.026>
- Coletti, J., Bonduelle, G. M., & Iwakiri, S. (2010). Avaliação de defeitos no processo de fabricação de lamelas para pisos de madeira engenheirados com uso de ferramentas de controle de qualidade. *Acta Amazonica*, 40(1), 135–140. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100017>
- Djassemi, M., & Sena, J. A. (2006). The Paperless Factory: A Review of Issues and Technologies. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6(12), 185–191.
- Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44(2), 145–159. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90350-K](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90350-K)
- Fagoyinbo, I. ., Akinbo, R. ., Ajibode, I. ., & Olaniran, Y. O. . (2011). Maximization of Profit Inmanufacturing Industries Using Linear Programming Techniques: Geepee Nigeria Limited. *1st International Technology, Education and Environment Conference*, 2(6), 97–105.
- Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2019). ILeanDMAIC - A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, 41, 1095–1102. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.038>
- Formoso, D. V., Torres, C., Wesz, J., & Tzortzopoulos, P. (2014). The role of visual management in collaborative integrated planning and control for Engineer-to-order. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 775–787.
- Fursule, N. V, Bansod, S. V, & Fursule, S. N. (2012). Understanding the Benefits and Limitations of Six Sigma Methodology. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(1),

- 2250–3153.
- Gradišar, M., Resinovič, G., & Kljaji, M. (2002). Evaluation of algorithms for one-dimensional cutting. *Computers and Operations Research*, 29(9), 1207–1220. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(01\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(01)00025-9)
- Grover, S., Kovach, J., & Cudney, E. (2016). Case Study: Integrating Strategic Planning and Quality Improvement Methods to Create Sustainably High Performance. *Journal for Quality and Participation*, 39(2), 23–32.
- Gueorguiev, T. (2018). Improving the Internal Auditing Procedure by Using SIPOC Diagrams. *Journal of Innovations and Sustainability*, 4(2), 35–43.
- Hambleton, L. (2007). Six Sigma Methodology Overview: Choosing the right approach to address the requirements. In *Treasure Chest of Six Sigma: Growth Methods, Tools, and Best Practices* (pp. 13–114).
- Jahromi, M. H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., & Shamsi, A. (2012). Solving an one-dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(24), 1–8. <https://doi.org/10.1186/2251-712X-8-24>
- Kaynak, H. (2003). The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance. *Journal of Operations Management*, 21(4), 405–435. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(03\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(03)00004-4)
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2006). Participatory action research and the public sphere. In *The Sage handbook of qualitative research* (Vol. 14, Issue 4, pp. 559–603). <https://doi.org/10.1080/09650790600975593>
- Kjersem, K., Halse, L. L., Kiekebos, P., & Emblemståg, J. (2015). Implementing Lean in Engineer-to-Order Industry: A Case Study. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7>
- Klumbyte, E., Bliudzius, R., & Foikades, P. (2020). A SIPOC based model for the sustainable management of facilities in social housing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012081>
- Kobayashi, K., Fisher, R., & Gapp, R. (2008). Business improvement strategy or useful tool? Analysis of the application of the 5S concept in Japan, the UK and the US. *Total Quality Management and Business Excellence*, 19(3), 245–262. <https://doi.org/10.1080/14783360701600704>
- Laureani, A., & Antony, J. (2019). Leadership and Lean Six Sigma: a systematic literature review. *Total Quality Management and Business Excellence*, 30(1–2), 53–81. <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1288565>
- Lin, C., Chen, F. F., Wan, H. Da, Chen, Y. M., & Kuriger, G. (2013). Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology. *Robotics and Computer - Integrated Manufacturing*, 29(3), 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.04.018>
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21, 193–203. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6)
- Madhani, P. M. (2020). Lean Six Sigma Deployment in Finance and Financial Services: Enhancing Competitive Advantages. *IUP Journal of Operations Management*, 19(3), 25–49.
- Mendoza-Loyo, K. L., Vázquez-Rosas, S., Caballero-López, E. I., & Hernández-Sánchez, U. A. (2020). Six Sigma and the application perspectives of various industries: A bibliometric analysis. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 6(12), 565–570.

- <https://doi.org/10.22161/ijaems.612.12>
- Miltenburg, J. (2005). Manufacturing strategy. In *Productivity Press*.
<https://doi.org/10.4324/9781315687803-9>
- Mishra, P., & Sharma, R. K. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(5), 522–546. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>
- Mistry, D. (2020). Application of Lean Manufacturing Tools and Techniques: A Case Study in a Manufacturing Industry. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(6), 1260–1267. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.6204>
- Mudgal, D., Pagone, E., & Saloniitis, K. (2020). Approach to Value Stream Mapping for Make-To-Order Manufacturing. *Procedia CIRP*, 93, 826–831.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.026>
- Nagi, A., & Altarazi, S. (2017). Integration of value stream map and strategic layout planning into DMAIC approach to improve carpeting process. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(1), 74–97. <https://doi.org/10.3926/jiem.2040>
- Nakagawa, M. (2014). Ferramenta: 5W2H – plano de ação para empreendedores. *Movimento Empreenda*, 1–3. http://cms-empresenda.s3.amazonaws.com/empresenda/files_static/arquivos/2014/07/01/5W2H.pdf
- Niemeijer, G. C., Trip, A., Ahaus, K. T. B., Does, R. J. M. M., & Wendt, K. W. (2010). Quality in trauma care: Improving the discharge procedure of patients by means of Lean Six Sigma. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care*, 69(3), 614–618.
<https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181e70f90>
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Olofsson, O. (2012). *VSM - Does that add value?* <https://sixsigmadsi.com/10-steps-to-complete-a-value-stream-map/>
- Patel, V. C., & Thakkar, H. (2014). A Case Study: 5s Implementation in Ceramics Manufacturing Company. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 4(3), 132–139. <https://doi.org/10.9756/bijiems.10346>
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2010). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075–3090.
<https://doi.org/10.1080/0020754021000049817>
- Pereira, R. (2009). The Seven Wastes. *ISixSigma*, 5(5).
- Pham, H., & Kilpatrick, J. (2003). Lean Principles. *Utah Manufacturing Extension Partnership*, 68, 1–5.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-to-order manufacturers. *Procedia CIRP*, 17, 571–576. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137>
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). 5S - A quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(3). <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>
- Reis, L., Varela, M. L. R., Machado, J. M., & Trojanowska, J. (2016). Application of Lean Approaches and Techniques in an Automotive Company. *The Romanian Review Precision Mechanics*,

- Optics & Mechatronics*, 50, 50.
- Rifqi, H., Zamma, A., Souda, S. B., & Hansali, M. (2021). Lean manufacturing implementation through DMAIC approach: A case study in the automotive industry. *Quality Innovation Prosperity*, 25(2), 54–77. <https://doi.org/10.12776/qip.v25i2.1576>
- Robson, M. (2016). What do we know? The principles of action research. In *Action Research: Principles and Practice* (Vol. 13, Issue 3, pp. 13–69). <https://doi.org/10.1080/14767333.2016.1220174>
- Sá, J. C., Vaz, S., Carvalho, O., Lima, V., Morgado, L., Fonseca, L., Doiro, M., & Santos, G. (2020). A model of integration ISO 9001 with Lean six sigma and main benefits achieved. *Total Quality Management and Business Excellence*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1829969>
- Senderská, K., Mareš, A., & Václav, Š. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D*, 79(1), 139–150.
- Seth, D., Seth, N., & Dhariwal, P. (2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. *Production Planning and Control*, 28(5), 398–419. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1300352>
- Singh, R., & Shalini, R. (2018). A Lean Six Sigma framework to enhance the competitiveness in selected automotive component manufacturing organisations. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 21(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.4102/sajems.v21i1.1852> Copyright:
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Srinivasan, K., Muthu, S., Devadasan, S. R., & Sugumaran, C. (2016). Enhancement of sigma level in the manufacturing of furnace nozzle through DMAIC approach of Six Sigma: a case study. *Production Planning and Control*, 27(10), 810–822. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1143130>
- Steenkamp, L. P., Hagedorn-hansen, D., & Oosthuizen, G. A. (2017). Visual management system to manage manufacturing resources. *14th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 8, 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.058>
- Strandhagen, J. W., Vallandingham, L. R., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2018). Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer-to-order (ETO) operations: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.246>
- Tchidi, M. F., He, Z., & Li, Y. B. (2012). Process and quality improvement using Six Sigma in construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(2), 158–172. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.657411>
- Tenera, A., & Pinto, L. C. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 912–920. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.102>
- Thomassen, M. K., Alfnes, E., & Gran, E. (2015). A New Value Stream Mapping Approach for Engineer-to-Order Production Systems. *IFIP International Federation for Information Processing 2015*, 460, 207–214. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7>
- Van Patten, J. (2006). A second look at 5S. *Quality Progress*, 39(10), 55–59.
- Wadsworth, Y. (1998). What is Participatory Action Research? In *Action Research International* (Vol. 2). www.scu.edu.au/schools/gcm/ar/ari/p-ywadsworth98.html

- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, *11*, 1292–1298.
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Walter, M. (2009). Participatory Action Research. *Social Research Methods*.
- Wäscher, G., Haußner, H., & Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, *183*(3), 1109–1130.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.12.047>
- Zhang, L., & Chen, X. (2016). Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. *Procedia Engineering*, *145*, 1267–1274.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.163>

página propositadamente em branco

APÊNDICE A



Operação	Consulta de desenhos técnicos através do computador
Software	Autodesk Vault

1. Objetivo

Instrução para navegação na plataforma Vault, de forma a consultar os desenhos 3D e 2D dos equipamentos.

2. Âmbito

Consulta de desenhos

3. Requisitos específicos

Computador com acesso à internet e *add in's* devidamente instalados para visualização de ficheiros CAD

4. Equipamentos de proteção individual

-


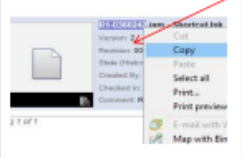






5. Etapas da atividade

Etapa	Atividade
1	Descobrir da referência R1 do equipamento a ser consultado
2	Seleção do desenho e visualização da BOM
3	Consulta do desenho CAD 3D
4	Consulta do desenho CAD 2D
5	Solução de recurso

Revisão	Data	Autor	Aprovação Factory / Aprovação R&D
00	28/06/2021	Miguel Teixeira	-
-	-	-	-



Operação	Consulta de desenhos técnicos através do computador
Software	Autodesk Vault



Operação	Etapa	Atividade	Como fazer?
 	1	Descobrir referência R1 do equipamento a ser consultado	<p>1- Abrir o Autodesk Vault no browser Internet Explorer. Depois de inserir as credenciais, na Página Inicial, abrir "Project Explorer"- Ref. (A).</p> <p>2- Selecionar "01 - Workspace"; "02 - Products RD"; "02 - Custom Studies".</p> <p>3- Escolher projeto e equipamento.</p> <p>4- Copiar referência do desenho de conjunto. Ref. (B).</p>
     	2	Seleção do desenho e visualização da BOM	<p>1- Na Página Inicial do Autodesk Vault, abrir "Item Master". Ref. (C).</p> <p>2 - Na barra de pesquisa do canto superior direito, colar a referência do desenho geral conhecida na etapa 1 Ref. (D) e selecionar o conjunto correspondente à pesquisa.</p> <p>3- Para aceder à lista de materiais (organizada por subconjuntos) que constitui o conjunto pesquisado anteriormente, selecionar o botão "Bill of Materials" Ref. (E).</p> <p>4 - Para abrir uma determinada peça ou subconjunto, clicar na sua referência, o que levará a uma página dedicada a esse artigo. Na miniatura apresentada do lado esquerdo Ref. (F) encontra-se o artigo retratado pela atual página.</p> <p>5- O botão "Where Used" (Ref. (G)) apresenta uma lista com todos os desenhos de conjunto (desenhos "Pai") que incluem o conjunto ou peça selecionada.</p> <p>6- Para visualizar os desenhos do artigo selecionado, clicar em "Attachments". Ref. (H) Para ter acesso aos desenhos 2D e 3D, é necessário que o desenho esteja finalizado (<i>State: Released</i>). Nota: Caso o desenho não esteja finalizado (<i>State: Work in Progress</i>), ir para etapa 5.</p>



Operação	Consulta de desenhos técnicos através do computador
Software	Autodesk Vault

Operação	Etapa	Atividade	Como fazer?
	3	Consulta de desenhos CAD 3D	<p>1- Para abrir o desenho CAD 3D, selecionar a lupa demonstrada na Ref. (I). Se o ficheiro não abrir, ir para etapa 5.</p> <p>2- Uma vez aberto, para selecionar vistas de referência: utilizar o cubo de vistas padrão e as setas de rotação no canto superior direito do ecrã.</p> <p>3- Para aceder a vistas customizadas e arrastar a peça / conjunto, selecionar o modo apresentado na Ref. (J): Para girar, utilizar o botão esquerdo do rato; Para ajustar o zoom, utilizar a roda do rato; Para arrastar, pressionar a roda do rato.</p> <p>4- Para identificar um determinado elemento de um conjunto, selecionar o modo apresentado na Ref. (K), localizado na barra superior, e clicar no elemento por identificar. Depois, arrastar a <i>Bill of Materials</i> que surgirá no canto inferior esquerdo (Ref. (L)) até à área de visualização e reduzir a altura da janela, de modo a que seja apenas possível visualizar 1 artigo - Ref. (M). Nota: Ao clicar numa peça com o botão do lado direito do rato, outras funcionalidades serão disponibilizadas, como "Ocultar outros" ou "Transparente".</p> <p>5- No separador "Markup and Measure" (Ref. (N)) será possível fazer medições ao objeto. Nota: Para limpar: Clicar na medição com o botão direito do rato - "Revisões" - Clicar na referência do desenho com o botão direito do rato - Excluir (Ref. (O))</p> <p>6 - Para localizar um determinado artigo no desenho: Separador "Home" - Barra de pesquisa (Ref. (P)) - Inserir Referência do artigo a ser localizado. No lado direito (Ref. (Q)) aparecerá uma lista com todos os artigos correspondentes à pesquisa, onde poderão ser localizados.</p>



Operação		Consulta de desenhos técnicos através do computador	
Software		Autodesk Vault	
Operação	Etapa	Atividade	Como fazer?
	4	Consulta de desenhos CAD 2D	<p>1- Depois de escolhido o conjunto / peça, para visualizar os desenhos 2D, selecionar "Attachments". Para ter acesso aos desenhos 2D e 3D, é necessário que o desenho esteja finalizado (<i>State: Released</i>). Nota: Caso o desenho não esteja finalizado (<i>State: Work in Progress</i>), ir para etapa 5.</p> <p>2- Clicar sobre o desenho 2D, como demonstrado na Ref. (R), (ao invés de selecionar a lupa como foi indicado na etapa anterior). Depois de aberta uma janela onde só constam desenhos 2D, selecionar a lupa.</p>
<p>No caso de, por alguma razão, ao seguir as etapas descritas anteriormente, os desenhos se encontrarem indisponíveis para visualização, a solução de recurso é consultar o repositório de desenhos. Nota: Ao recorrer a esta alternativa, os desenhos podem não se encontrar na versão mais atual.</p>			
	5	Solução de recurso	<p>1- Ter acesso à referência do desenho em falta. (Dica: Copiá-la para a área de transferência - Ctrl+C)</p> <p>2- Na página inicial do Autodesk Vault, abrir "Project Explorer", como indicado na Ref. (A), etapa 1</p> <p>3- Selecionar "01 - Workspace"; "02 - Products RD"; "01 - Mechanical".</p> <p>4 - Na barra de pesquisa do canto superior direito (Ref. (S)), colar a referência do desenho indisponível</p> <p>5- Seguir instruções da etapa 4 ou 5, consoante o desenho pretendido seja 2D ou 3D.</p>

APÊNDICE B

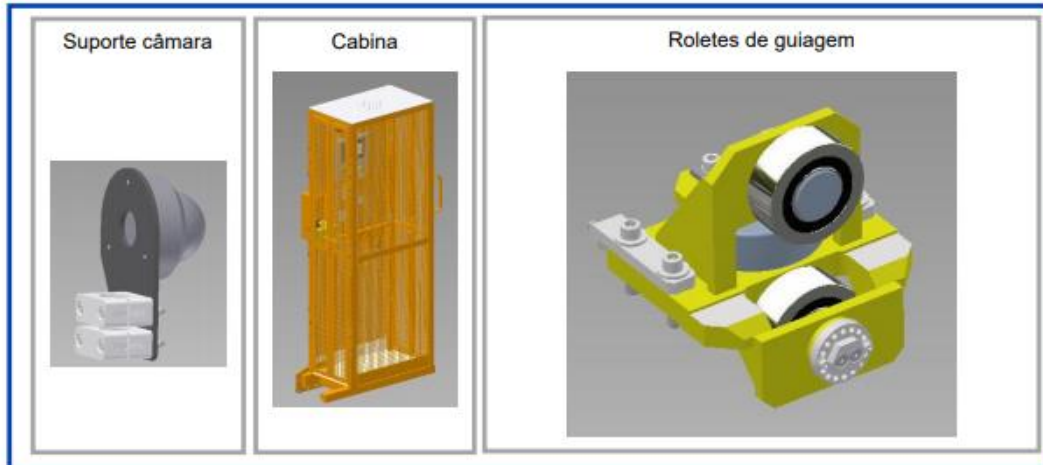
What	Why	Where	When	Who	How	How much
Preparação antecipada de pré-montagens standard	Reduzir Lead Time da montagem de Stacker Cranes e Conveyors	Workstation definida para o efeito	Dezembro de 2021	Departamento de Planeamento de produção	Identificar conjuntos mecânicos comuns entre projetos e comprar materiais para stock	Custos de aumento de stock
Implementação de regras para melhor organização no abastecimento de materiais às Workstations	Redução de tempos inativos por procura de materiais	Zona de receção de materiais	Maio de 2021	José Miguel Teixeira	Implementação 5S's nos carros Kit de Montagem	Compra de mais carros kit de montagem
Reforço equipa da logística interna	Promover melhor condições para a implementação de melhorias que visam a redução de tempos inativos por procura de materiais	Zona de receção de materiais	Dezembro de 2021	Departamento de Recursos Humanos	Contratação de um novo colaborador	Ordenado do novo colaborador
Implementação de um ERP mais completo	Melhoria de comunicação entre departamentos; maior organização no planeamento de produção, controlo de stocks	-	Dezembro de 2022	Direção	Seleção de novo ERP e formação aos colaboradores	Custo do ERP
Implementação de um PDM mais desenvolvido e automatizado	Facilitar a identificação e resolução de erros de projeto	-	Dezembro de 2022	Departamento R&D	-	Custo do PDM
Melhoria do fluxo de informação aos operadores e chefes de equipa	Redução de tempos de inatividade na procura de informações úteis para sequenciamento de operações	Oficina	Abril de 2021	José Miguel Teixeira	Criação de documentos ou programas que forneçam informações úteis relativamente a chegadas de material	-

APÊNDICE C

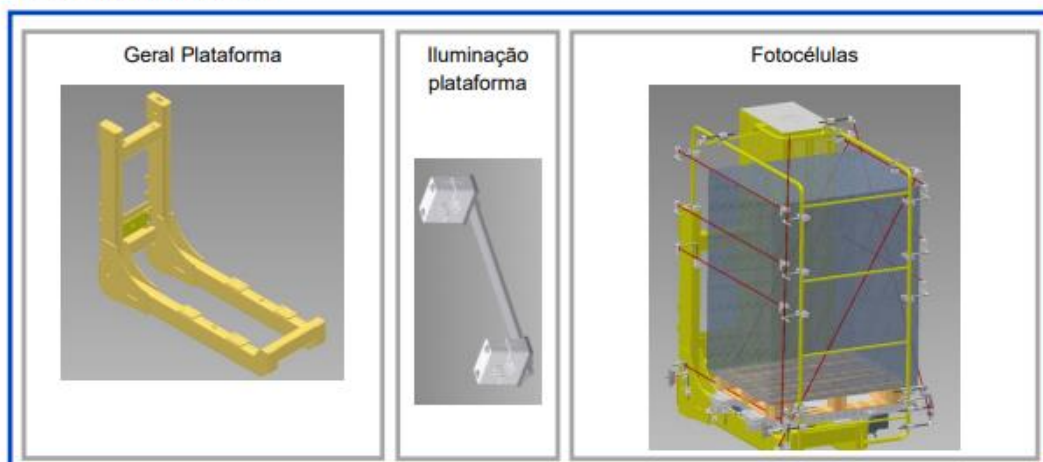


Distribuição dos materiais no carro - Plataforma

Prateleira superior



Prateleira intermédia



Prateleira inferior



APÊNDICE D



Distribuição dos materiais no carro - Plataforma

	<p>Parafusos / Porcas Pernos / Anilhas</p>
	<p>Elementos comuns</p>
	<p>Suporte equipamento de segurança na elevação</p>
	<p>Suporte leitor código de barras</p>

APÊNDICE E



Nº Projeto / Cliente	
Designação do equipamento	
Artigo	Quantidade

Chefes de equipa:
 Montagem Mecânica
 Montagem Elétrica

Data de início de testes: _____
Data objetivo de expedição: _____

Lista de pendentes:

Mecânica	•	•	•	•	•	•
Elétrica	•	•	•	•	•	•

APÊNDICE F

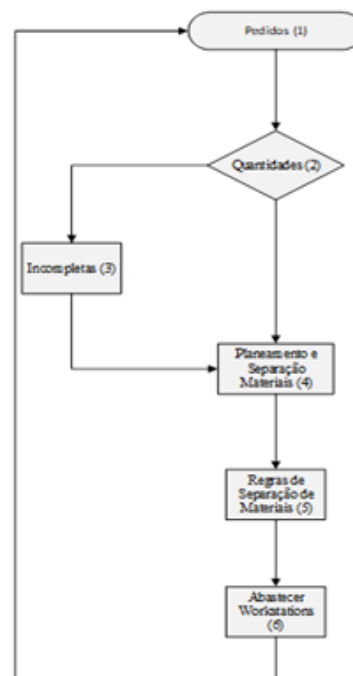
Procedimento

Logística interna - Fábrica

3.2 Gestão de abastecimento

Etapa	Descrição das atividades
1	Acesso a Informação de pedidos feitos via App - materiais e datas previstas de entrega.
2	Verificação se o pedido chegou na sua totalidade.
3	Quando se verificar que os pedidos vieram incompletos, o controlo dos materiais em falta deve ser feito através de uma <i>checklist</i> (BOM).
4	Consultar o planeamento feito (A) e iniciar a separação de materiais para as respetivas workstations de acordo com o planeado.
5	A separação dos materiais é feita tendo em conta as dimensões dos mesmos e regras de separação definidas (C). A disposição dos materiais no carro kit de montagem deve respeitar o esquema afixado no mesmo, facilitando o rápido acesso do operador.
6	No caso de o envio de materiais ser feito em mais do que uma fase, a checklist (BOM) do carro kit de montagem deve ser atualizada
7	Os carros kit de montagem devem ser recolhidos e esvaziados quando a montagem do equipamento está completa
8	O destino dos materiais de sobra nos carros varia consoante a origem: <ul style="list-style-type: none"> • Os materiais pertencentes à lista de Kanban devem ser devolvidos às respetivas caixas • Os artigos normalizados ou de uso frequente (chapas, abraçadeiras, entre outros) devem ser devolvidos à logística. • Os restantes materiais com defeito com origem no fabricante ou no projeto devem ser rejeitados;

Fluxograma operação



APÊNDICE G



Formulário Auditoria 5S's

1.ºS: TRIAGEM		N.º Acontec.	Pontuação				
1	Material desnecessário está presente (Equipamento, ferramentas, documentos , etc);		0	1	2	3	4
2	Material desnecessário está afixado nas paredes/ quadros (Desenhos, documentos);		0	1	2	3	4
3	Está material em local indevido (a obstruir corredores, acessos a extintores, portas, etc);		0	1	2	3	4
4	O posto de trabalho tem matéria prima , consumíveis, pré-montagens desnecessárias;		0	1	2	3	4
5	Não existem nos postos de trabalho líquidos em embalagens não apropriadas à execução do trabalho (água, petróleo, diluente).		0	1	2	3	4
		Resultado 1.ºS					
2.ºS: ARRUMAÇÃO		N.º Acontec.	Pontuação				
1	Existem locais definidos e identificados para colocar os equipamentos utilizados na área.		0	1	2	3	4
2	O layout do posto de trabalho está devidamente marcado;		0	1	2	3	4
3	A arrumação de equipamentos e materiais está bem organizada, e garante o seu acesso em segurança ;		0	1	2	3	4
4	Os carros de ferramenta e de kit de montagem estão devidamente organizados e cumprem as indicações da disposição de materiais .		0	1	2	3	4
5	Os armários (EPI's, ferramentas, cacifos, etc) e bancadas de trabalho estão arrumadas e em bom estado de conservação.		0	1	2	3	4
		Resultado 2.ºS					
3.ºS: LIMPEZA		N.º Acontec.	Pontuação				
1	O chão da workstation estão limpas, livres de lixo ou resíduos; Os caixotes do lixo não passam do limite da abertura.		0	1	2	3	4
2	As ferramentas e os equipamentos estão limpos, sem óleo, resíduos ou lixo;		0	1	2	3	4
3	Os materiais de limpeza estão acessíveis, num local definido;		0	1	2	3	4
4	Marcações e identificações estão limpas e em boas condições.		0	1	2	3	4
5	Estado de conservação da cablagem , tubagem, painéis de controlo e quadros eléctricos.		0	1	2	3	4
		Resultado 3.ºS					
4.ºS: NORMALIZAÇÃO		N.º Acontec.	Pontuação				
1	Existem normas de 5S na área (marcações, identificações, gestão visual, boas práticas de organização, etc.);		0	1	2	3	4
2	A apresentação da informação nos quadros esta devidamente normalizada e atualizada.		0	1	2	3	4
3	Os EPI's estão disponíveis e a ser utilizados pelos colaboradores. Existe uma norma sobre o vestuário e EPI's a utilizar		0	1	2	3	4
4	Existem instruções de funcionamento para os equipamentos;		0	1	2	3	4
5	Os carros kit de montagem estão identificados, com a documentação necessária e devida gestão visual.		0	1	2	3	4
		Resultado 4.ºS					
5.ºS: SUSTENTABILIDADE		N.º Acontec.	Pontuação				
1	Número de vezes durante o mês que os 5S's não foram cumpridos ;		0	1	2	3	4
2	Quantos colaboradores compreendem os princípios dos 5S's (resistência a implementação);		0	1	2	3	4
3	Não existem equipamentos pessoais nos postos de trabalho;		0	1	2	3	4
4	Os postos de trabalho ficam arrumados no final do dia ;		0	1	2	3	4
5	Houve evolução correcção na implementação do piano de ações , desde a última auditoria		0	1	2	3	4
		Resultado 5.ºS					

Regras de Pontuação	
Acontecimentos	Pontuação
0	4
≤2	3
≤4	2
≤6	1
>6	0