



ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR DE MOLDES

ANDRÉ DE LIMA E COSTA

setembro de 2020

ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR DE MOLDES

André de Lima e Costa
1150925

2019/2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica – Ramo Gestão Industrial



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR DE MOLDES

André de Lima e Costa
1150925

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica – ramo Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

2019/2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica – Ramo Gestão Industrial



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Professora Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professor Doutor João Carlos de Oliveira Matias

Professor Catedrático, Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Realizar o estágio na empresa SF Moldes S.A. / Schneider Form Portugal foi uma aposta ganha, onde aprendi muito, deixando aqui o meu eterno agradecimento ao Eng. Jorge Cardoso pela oportunidade de realização de um estágio curricular, numa das melhores empresas de moldes de injeção de plástico do país. Um agradecimento aos chefes do departamento de desenho de moldes, produção, bancada e manutenção da SF Moldes, principalmente pela confiança que depositaram em mim e conhecimento que transmitiram. Aos restantes colegas na empresa, de uma forma ou de outra, transmitiram-me conhecimentos sobre moldes de injeção de plástico e seu planeamento.

Um agradecimento especial também ao meu orientador de estágio, Professor Doutor Luís Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelo apoio disponibilizado, conhecimento e colaboração. Tenho ainda a agradecer-lhe os materiais colocados à disposição, bem como as sugestões feitas durante a escrita e revisão deste relatório.

E sem esquecer à minha família, à Rita e a todos os amigos por toda a paciência, conselhos e sugestões.

PALAVRAS CHAVE

Análise e melhoria de processos; Moldes para injeção de plástico; Lean; 5S; FMEA

RESUMO

Com a crescente competitividade na indústria, é inevitável que as empresas tomem medidas, para que todos os seus colaboradores eliminem, de forma contínua, os desperdícios e criem mais valor.

Neste sentido, este projeto teve como base o estágio realizado na SF Moldes S.A. / Schneider Form Portugal, empresa que concebe, desenvolve e fabrica moldes em aço, tendo em vista o processo de moldação por injeção de plástico, que tem como destino principal, o setor automóvel. O intuito foi implementar o pensamento Lean em todos os setores e pessoas envolvidas, atingindo os seguintes objetivos: i) uniformizar a modelação de standards no Departamento de Projeto de Moldes; ii) criar metodologia para o dimensionamento de aços; iii) organizar a produção; iv) elaborar de documentos de apoio à produção; v) uniformizar o *stock* de grafite e vi) criar ferramentas de apoio à manutenção.

Finda a análise aos processos existentes, foram identificados problemas e propostas de soluções para os resolver. Assim, foram propostas as seguintes melhorias: i) criação de base de dados; ii) aplicação do Método de Elementos Finitos; iii) aplicação da ferramenta 5S; iv) elaboração de documentos de apoio; v) regulação de *stock* através de *kanbans* e vi) fase de implementação da Manutenção Centrada na Fiabilidade, utilizando a ferramenta *Failure Mode and Effects Analysis*.

Após a implementação das propostas supramencionadas, foi possível a redução do tempo na modelação de componentes e no molde final, minimizando também os erros de modelação. Houve uma poupança na compra de aços e foi implementada uma produção organizada com uma melhoria nas auditorias de 35% para 85%. Houve um aumento da produtividade, mais autonomia e comunicação entre setores, regularização de *stocks* e diminuição de manutenção corretiva.

KEYWORDS

Process analysis and improvement; Moulds for plastic injection; Lean; 5S; FMEA

ABSTRACT

With the growing trend in the industry, it is inevitable that companies act, so that all their employees continuously eliminate waste and create more value.

In this sense, this project was based on the internship carried out at SF Moldes SA / Schneider Form Portugal, a company that designs, develops and manufactures steel molds, in view of the plastic injection molding process, which has as its main destination the automotive sector. The aim was to implement Lean thinking in all sectors and people involved, achieving the following objectives: i) standardize the modeling of standards in Mould Design Department; ii) create a methodology for dimensioning steel; iii) organize production; iv) preparing production support documents; v) standardize the graphite stock and vi) create tools to support maintenance.

After analyzing the existing processes, problems were identified and proposals for solutions to solve them were identified. Thus, the following improvements were proposed: i) creation of a database; ii) Application of the Finite Element Method; iii) Application of the 5S method; iv) elaboration of supporting documents; v) tock regulation through kanbans and vi) implementation phase of Reliability Centered Maintenance, using the Failure Mode and Effects Analysis tool.

After the implementation of the proposals, it was possible to reduce the time in component modeling and in the final mold, also minimizing modeling errors. There was a saving in the purchase of steel and organized production was implemented with an improvement from 35% to 85% in the auditing. There was an increase in productivity, more autonomy and communication between sectors, regularization of stocks and a decrease in corrective maintenance.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CEFAMOL	Associação Nacional da Indústria de Moldes
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DPM	Departamento de Projeto de Molde
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MEF	Método dos Elementos Finitos
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PME	Pequena e Média Empresa
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TWI	<i>Training Within Industry</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Lista de Unidades

g	Gramma
GPa	Gigapascal
HRC	Ensaio de dureza <i>Rockwell</i> , utilizando a escala C
kg	Kilograma
kN	KiloNewton
m	Metro
m ³	Metro cubico
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
Pa	Pascal
s	Segundo
W	<i>Watt</i>
ton	Tonelada
μm	Micrómetro

Lista de Símbolos

%	Percentagem
€	Euro
°	Grau Celsius

GLOSSÁRIO DE TERMOS

5S	Cinco termos japoneses (<i>seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke</i>) aplicados num posto de trabalho para criar um ambiente harmonioso, com controlo visual e <i>Lean</i> .
Andon	Sistema de luzes ou quadros informativos na parte superior dos equipamentos, que potenciam o controlo do processo
<i>Bottleneck</i>	Processo que limita o desempenho do sistema
<i>Kaizen</i>	Melhoria contínua de uma atividade para garantir acréscimo de valor, reduzindo desperdícios.
<i>Kanban</i>	Significa cartão. Coordena o fluxo de materiais e informação do <i>pull systems</i> .
<i>Layout</i>	Estrangeirismo para “planta fabril”
<i>Lead time</i>	Tempo útil entre o início de uma tarefa e o seu final
<i>Lean</i>	Metodologia de trabalho que pretende eliminar o desperdício e promover a melhoria contínua.
OK	Utilizado nos procedimentos de inspeção, onde o estado “OK” significa de acordo com o esperado. Item analisado conforme.
<i>Setup</i>	Configuração de um equipamento para um dado processo
<i>Standard</i>	Estrangeirismo para “padrão”
<i>Standard Work</i>	Padrão, que por norma se refere à padronização/normalização de uma tarefa; Criar procedimentos de trabalho.
<i>Stock</i>	Estrangeirismo para “inventário”
<i>Takt Time</i>	Tempo disponível para a produção de um artigo de acordo com a sua procura. Este tempo deverá marca o ritmo de produção
VSM	Identificação das atividades ao longo de um fluxo de valor.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE FEITOS HISTÓRICOS (SCHNEIDER FORM, 2016)	31
FIGURA 2 - FÁBRICA NA ALEMANHA, UK, PORTUGAL E CHINA (SCHNEIDER FORM, 2016)	31
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA SF MOLDES, S.A	32
FIGURA 4 - EXPORTAÇÕES NACIONAIS NA INDÚSTRIA DOS MOLDES (CEFAMOL, 2017)	38
FIGURA 5 - FINALIDADES DA PRODUÇÃO DE MOLDES (CEFAMOL, 2017)	38
FIGURA 6 - O CICLO DE MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO (ADAPTADO DE CUNHA & POUZADA, 1997)	40
FIGURA 7 - FECHO DO MOLDE	41
FIGURA 8 - INJEÇÃO	41
FIGURA 9 - PLASTICIZAÇÃO E ARREFECIMENTO	42
FIGURA 10 - ABERTURA DO MOLDE E EXTRAÇÃO DA PEÇA	42
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DA PRESSÃO DURANTE O PROCESSO DE MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO (MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS) (ADAPTADO DE MOREIRA (2015))	43
FIGURA 12 - MOLDE DE 3 PLACAS E DOIS PLANOS DE APARTAÇÃO ABERTOS (LIDOMAR, 2012)	44
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO DE MOLDE SANDWICH E SUA ABERTURA (CENTIMFE, 2004) CITANDO (MOREIRA, 2015)	45
FIGURA 14 - MOLDE DE DUAS PLACAS (CUSTOMPARTNET, S.D.)	46
FIGURA 15 - MÁQUINA INJETORA (ADAPTADO DE CUSTOMPARTNET, 2018)	47
FIGURA 16 - FUSO STANDARD	49
FIGURA 17 - TIPOS DE MANUTENÇÃO (AMARAL, 2016)	61
FIGURA 18 – LIMITAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 (ADAPTADO DE MCKINSEY&COMPANY, 2016)	66
FIGURA 19 – PLANTA INSTALAÇÕES	69
FIGURA 20 - PROCESSO DE NEGÓCIO DA ATIVIDADE PRODUTIVA	71
FIGURA 21 - PÁGINA INICIAL	76
FIGURA 22 - PÁGINA "SUPPLIERS"	76
FIGURA 23 - EXTRATORES FIBRO	77
FIGURA 24 - BARRA <i>CONNECTION PROPERTIES</i> (DELGADO, 2015)	78
FIGURA 25 - BARRA <i>ANALYSIS SUPPORTS</i> (DELGADO, 2015)	79
FIGURA 26 - BARRA <i>RESTRAINS</i> (DELGADO, 2015)	79
FIGURA 27 - BARRA <i>LOADS</i> (DELGADO, 2015)	80
FIGURA 28 - BARRA <i>COMPUTE</i> (DELGADO, 2015)	80
FIGURA 29 - BARRA <i>IMAGE</i> (DELGADO, 2015)	81
FIGURA 30 - BARRA <i>MODEL MANAGER</i> (DELGADO, 2015)	81
FIGURA 31 - APLICAÇÕES DE RESTRIÇÕES NUMA PEÇA	82
FIGURA 32 - FUNÇÃO <i>DEFORMATION</i>	82
FIGURA 33 - VON MISES STRESS	83
FIGURA 34 - <i>DISPLACEMENT</i>	83
FIGURA 35 - DIMENSIONAMENTO À RIGIDEZ E FLEXÃO NO MACHO	85
FIGURA 36 - DIMENSIONAMENTO À RIGIDEZ E FLEXÃO NA CAVIDADE	86
FIGURA 37 - ANTES E DEPOIS DA LIMPEZA À VOLTA DA PRENSA	87

FIGURA 38 - RESTAURO DOS SUPORTES METÁLICOS	88
FIGURA 39 - AUDITORIA 5S	89
FIGURA 40 - PRIMEIRA AUDITORIA 5S	89
FIGURA 41 - SEGUNDA AUDITORIA 5S	90
FIGURA 42 - LOCALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO	91
FIGURA 43 - <i>TEMPLATE</i> FICHA	92
FIGURA 44 - EXEMPLO DE PREENCHIMENTO DA FICHA	92
FIGURA 45 - CARTÃO KANBAN	93
FIGURA 46 - QUADRO COMPLETO	94
FIGURA 47 - QUADRO SEM UM CARTÃO	94
FIGURA 48 - QUADRO SEM 7 CARTÕES	94
FIGURA 49 - QUADRO SEM 9 CARTÕES	94
FIGURA 50 - <i>TEMPLATE</i> FMEA	95
FIGURA 51 – LÓGICA RCM (GONÇALVES, 2017)	97
FIGURA 52 - ANÁLISE FMEA	99
FIGURA 53 - ÍNDICE DE SEVERIDADE	100
FIGURA 54 - ÍNDICE DE FALHA	101
FIGURA 55 - ÍNDICE DE DETEÇÃO	101

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - REVISÃO DA LITERATURA DE ANÁLISE E MELHORIA DE PROCESSOS.	51
TABELA 2 - PROBLEMAS DOS PROCESSOS EM ESTUDO	72
TABELA 3 - PROPOSTAS DE MELHORIA	75
TABELA 4 - PROPRIEDADES	84
TABELA 5 - SEVERIDADE	96
TABELA 6 - DETECÇÃO	96
TABELA 7 – FALHA	97
TABELA 8 – ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS	105
TABELA 9 – ESTADO DE IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS	109

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ÍNDICE.....	XXIII
1 INTRODUÇÃO	29
1.1 Enquadramento do trabalho.....	29
1.2 Objetivos	30
1.3 Metodologia de Investigação.....	30
1.4 Apresentação da empresa	31
1.5 Conteúdo e organização da dissertação	32
2 REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	37
2.1 Indústria dos Moldes.....	37
2.1.1 História da Indústria dos Moldes.....	37
2.1.2 A indústria dos Moldes Atualmente.....	37
2.1.3 O molde de Injeção de Plásticos.....	39
2.1.3.1 Moldação a Quente de Plásticos	39
2.1.3.2 Moldação por injeção de Plásticos	39

2.1.4	Ciclo de Moldação	40
2.1.5	Constituição do Molde de Injeção	44
2.1.5.1	Molde de três placas	44
2.1.5.2	Moldes Sandwich	44
2.1.5.3	Molde de duas placas	45
2.1.6	Máquina Injetora	47
2.2	Análise e melhoria de processo	50
2.3	Lean Manufacturing	53
2.3.1	Princípios do Lean	54
2.3.2	Desperdício – <i>Muda</i>	55
2.3.3	Ferramentas Lean	56
2.3.3.1	Kaizen	56
2.3.3.2	Ciclo PDCA	57
2.3.3.3	5'S	58
2.3.3.4	Gestão Visual	58
2.3.3.5	Standard Work	59
2.3.3.6	Kanban	59
2.4	Manutenção	60
2.4.1	Conceito de manutenção	60
2.4.2	Tipos de manutenção	60
2.4.2.1	Manutenção preventiva	61
2.4.2.2	Manutenção corretiva	61
2.4.3	RCM – Manutenção Centrada na Fiabilidade	62
2.4.3.1	Questões Básicas da RCM	62
2.4.3.2	FMEA (Análise do Modo de Falha e Efeitos)	62
2.4.3.3	Risk Priority Number (RPN)	63
2.5	Indústria 4.0	63
2.5.1	Vantagens da indústria 4.0 na Europa	64
2.5.2	Limitações da indústria 4.0	65
3	ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO	69
3.1	Caracterização das instalações	69
3.2	Análise e Mapeamento do processo de produção	70
3.2.1	Processo de negócio da atividade produtiva	71
3.3	Identificação de problemas	72
3.3.1	Inexistência de base de dados da biblioteca de <i>standards</i>	72
3.3.2	Sobredimensionamento do molde	73
3.3.3	Desorganização do espaço	73

3.3.4	Ausência de documentação de apoio à produção	74
3.3.5	Incorreta quantidade de grafite a encomendar	74
3.3.6	Inexistência de ferramentas de apoio à manutenção	74
3.4	Propostas de melhoria	75
3.4.1	Criação de base de dados	75
3.4.2	Aplicação do Método de Elementos Finitos	77
3.4.2.1	Funcionalidades CATIA V5 para o MEF	78
3.4.2.2	Análise estrutural a um molde	84
3.4.3	Aplicação da ferramenta 5S	86
3.4.4	Elaboração de documentos de apoio à produção	90
3.4.5	Regulação através de <i>kanbans</i> no <i>stock</i> de grafite	93
3.4.6	Fase de implementação RCM (FMEA)	95
3.4.6.1	Documentos FMEA	95
3.4.6.2	Critérios da aplicação da lógica RCM	97
3.4.6.3	Análise FMEA	98
3.4.6.4	Resultados da análise FMEA	100
3.5	Análise de Resultados	104
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	109
4.1	Principais contributos do trabalho	109
4.2	Valor acrescentado do trabalho para a SF Moldes, S.A	110
4.3	Dificuldades encontradas	110
4.4	Trabalhos futuros	110
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1. INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento do trabalho
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia de Investigação
- 1.4 Apresentação da empresa
- 1.5 Conteúdo e organização da dissertação

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio, do Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo Gestão Industrial pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), apresento a minha dissertação de mestrado, que decorreu no período de setembro de 2019 a junho de 2020. Foi-me proposto a realização de um estágio, numa empresa de fabrico de moldes.

Neste capítulo, é introduzido o tema da presente dissertação, estando descrito o seu enquadramento, objetivos propostos e metodologia de investigação utilizada, bem como uma breve apresentação da empresa onde foi o estágio realizado, com o intuito de analisar uma possível abordagem para, de uma forma geral, reduzir os recursos, o lead time da tarefa, e custos.

1.1 Enquadramento do trabalho

A oportunidade para a realização deste estágio, surge através da necessidade da empresa em aperfeiçoar e melhorar os processos de produção de moldes. Para tal, foi imperativo efetivar melhorias ao processo de gestão e controlo de produção, bem como o processo de orçamentação com a finalidade de melhorar a sua produtividade, diminuir custos e adquirir a maior e melhor eficiência nos seus processos.

Na maioria das empresas deste setor, os departamentos de produção enfrentam várias adversidades, como a concorrência e competitividade, instabilidade dos mercados, evolução da tecnologia e especificidades dos clientes. Assim, a inovação é uma prioridade para garantir qualidade a baixo custo (Rosa et al., 2018). Através do pensamento *Lean*, é possível realizar um estudo prévio sobre ações durante a produção que não aumentam o valor do produto final e quais os recursos mal-aproveitados, potenciando assim a empresa a obter mais e melhor, por menos (tempo e dinheiro) (Neves et al., 2018). O máximo de qualquer empresa é o que tentamos obter através do *Lean*: obter o molde correto, na quantidade pedida, no tempo exigido, com o menor custo possível, sem descorar a qualidade e mantendo a satisfação dos clientes. (Choomlucksana et al., 2015)

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de melhoria do setor de moldes, analisando quais impactos no produto final, pela alteração dos vários recursos utilizados (humanos, maquinaria, equipamentos). Nos objetivos apresentados, propõe-se a implementação da filosofia *Lean* em todos os setores e pessoas envolvidas. Neste sentido, pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- Uniformizar a modelação de *standards* no *DPM*
- Criar metodologia para o dimensionamento de aços no *DPM*
- Organização na produção
- Elaboração de documentos de apoio à produção
- Uniformizar o *stock* de grafite
- Ferramenta de apoio à manutenção

1.3 Metodologia de Investigação

Analisando os problemas encontrados na indústria e a necessidade de uma intervenção direta para os resolver de uma forma simples e eficaz, foi aplicada uma metodologia de investigação baseada na *Action-Research*. *Action-Research* combina o conhecimento científico com o organizacional para resolver os problemas, sabendo que todas as decisões sofrem constantes evoluções e a atividade cíclica inicia-se sempre que o resultado não seja o pretendido (Banegas & Vilacañas, 2019). Esta metodologia tornou-se bastante reconhecida pela sua capacidade de envolver todos os intervenientes em torno da resolução de um problema de real importância para todos (Eden & Huxham, 1996), distinguindo-se pela sua componente prática, caracterizada como investigação em ação, em vez de investigação sobre a ação (Coughlan & Coughlan, 2002), disponibilizando uma reflexão crítica para cada ação, sabendo que com o acumular experiência nestes ciclos, os métodos, os dados e a interpretação são aperfeiçoados. Sempre que as mudanças não se objetivem no pretendido o processo será repetido (Carr, 2006). A metodologia *Action-Research* pode ser implementada através de um ciclo constituído por cinco fases principais (Susman & Evered, 1978). Inicialmente, na fase “Diagnóstico”, deve ser identificado e definido o problema. Na fase “Planeamento de ações” deve ser definida a estratégia das medidas a implementar para solucionar o problema em estudo. Continuamente, na fase “Implementação de ações” devem ser aplicadas as ações planeadas na fase anterior. Na fase “Avaliação” devem ser estudadas as consequências e resultados das ações implementadas. Por último, na fase “Conclusões”, é realizada uma análise ao sucesso das medidas implementadas com base nos resultados obtidos na fase antecedente (Susman & Evered, 1978; Oliveira et al. 2019).

1.4 Apresentação da empresa

Em 1961, o grupo *Schneider Form* foi fundado por Peter Schneider. Atualmente, é uma das empresas mais fortes no fabrico de moldes em toda a Europa e está sediada em Dettingen-Teck, na Alemanha. Só na sua sede, emprega atualmente mais de 200 pessoas, focando-se essencialmente em moldes com peso superior a 25 toneladas. Com necessidade crescente de expansão, em 2001, foi fundada a *Schneider Form UK*, com o intuito de melhorar o serviço prestado no Reino Unido. Em 2006, a *Schneider Form Portugal* (SF MOLDES, S.A.) foi fundada, sendo atualmente um dos fabricantes de moldes mais modernos e eficientes do país. Nesta fábrica, localizada em Oliveira de Azeméis, constrói-se maioritariamente moldes de injeção para uma força de aperto entre 1000 e 2500 toneladas (ton). Em 2008, a *Schneider Form China* foi fundada, sendo responsável pelo suporte técnico de moldes de grande escala. Na Figura 1, estão representados exemplo de feitos históricos (Schneider Form, 2016).



Figura 1 - Exemplo de feitos históricos (Schneider Form, 2016)

Em nota de curiosidade, ao longo de mais de 50 anos de vida, a *Schneider Form* protagonizou vários feitos histórico, tais como: (i) em 1966, foi responsável pela criação do molde para a primeira cadeira de plástico do mundo - a Bofinger-Stuhl; (ii) em 1981, concessionou o molde para a primeira bicicleta de plástico do mundo; (iii) em 1985, iniciou a produção do primeiro molde de para-choques com tecnologia de injeção de dois componentes e (iv) em 2007, produz, a nível global, o maior molde por injeção “fender module” do BMW X5 (figura 2).



Figura 2 - Fábrica na Alemanha, UK, Portugal e China (Schneider Form, 2016)

Atualmente A SF MOLDES, S.A. localiza-se no lugar de Pinhão, União de Freguesia de Nogueira do Cravo e Pindelo, concelho de Oliveira de Azeméis, distrito de Aveiro. Na Figura 3 é apresentado um pequeno mapa de localização (figura 3).



Figura 3 - Localização da SF Moldes, S.A

1.5 Conteúdo e organização da dissertação

O conteúdo desta dissertação está dividido em cinco capítulos. Sucintamente, o conteúdo de cada um dos capítulos é:

- Capítulo 1 – “**Introdução**”

É realizada uma abordagem ao tema e uma descrição ao problema que ocasionou a elaboração desta dissertação, onde se retrata o problema que deu origem ao projeto. São apresentados os objetivos, é definida a base metodológica de investigação e caracterizada a empresa onde se elaborou o projeto;

- Capítulo 2 – “**Revisão de Literatura e fundamentação teórica**”

Inicialmente será descrito a indústria de moldes e seguidamente são abordados os conceitos na qual o projeto desenvolvido é sustentado por bases teóricas que sustentam as ações de melhoria implementadas na empresa ao longo do estágio.

- Capítulo 3 – **“Análise e Melhoria dos Processos de Produção”**

É analisado os mapeamentos dos processos da empresa, onde se detetam os seus problemas e oportunidades de melhoria. Continuamente, delineiam-se planos de ação e propostas de melhoria implementadas para alcançar os objetivos pretendidos e executam-se ações nos setores necessários. Finalizando, são analisados os resultados quantitativos e qualitativos obtidos e faz-se uma avaliação dos mesmos.

- Capítulo 4 – **“Conclusões e Trabalhos Futuros”**

É realizada uma retrospectiva ao trabalho desenvolvido, onde se apresentam as conclusões e se faz uma reflexão sobre os resultados obtidos e se corresponderam aos objetivos traçados no início do projeto. São também apresentadas considerações finais e propostas de trabalho futuro.

- Capítulo 5 - **“Referências Bibliográficas”**

São apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

2. REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

- 2.1 Indústria dos Moldes
- 2.2 Análise e melhoria de processo
- 2.3 Lean Manufacturing
- 2.4 Manutenção
- 2.5 Indústria 4.0

2 Revisão de Literatura e Fundamentação teórica

2.1 Indústria dos Moldes

2.1.1 História da Indústria dos Moldes

De acordo com Cefamol (2017), em 1943, na Marinha Grande, numa empresa familiar de moldes para vidro, depois de uma desavença entre sócio e irmão, Aníbal Henriques Abrantes, vende a sua posição na empresa e, dois anos depois, cria o primeiro molde de injeção para plástico, sendo um pioneiro a nível mundial. Assim, consideramos que a indústria dos moldes para injeção de plástico é resultado do avanço tecnológico da indústria vidreira.

Neste seguimento, iniciou-se a sediação de várias empresas por todo o país, sendo que os concelhos da Marinha Grande e de Oliveira de Azeméis são os dois polos industriais mais importantes do setor.

O progresso e a vanguarda desta indústria devem-se à sólida e elevada experiência e do *know-how*, ao cumprimento dos prazos de entrega, ao rigoroso controlo de qualidade, à competitividade, ao investimento em alta tecnologia, sendo estes, fatores que asseguram a continuidade do fornecimento de moldes portugueses aos mercados mais exigentes no mundo (Cefamol, 2017).

2.1.2 A indústria dos Moldes Atualmente

Devido às competências do setor industrial português referidas anteriormente, como as capacidades competitivas e relação preço/qualidade/prazos de entrega, a indústria nacional tem vindo a crescer e a consolidar a sua notoriedade no mercado internacional e mundial, sendo o 8º fabricante de moldes a nível mundial e o 3º na Europa, exportando, atualmente, 85% da sua produção final, sendo que os cinco principais mercados são Espanha, Alemanha, França, República checa e Polónia (Cefamol, 2017).

Analisando os dados obtidos através dos relatórios anuais da Cefamol (2017), relativos ao ano 2018, o setor de moldes possui 540 empresas, comparada com as 515 empresas registadas no ano transato, maioritariamente de pequena e média dimensão. Estas empresas são dedicadas à conceção, desenvolvimento e fabrico de moldes e ferramentas especiais, empregando um total de 11000 trabalhadores.

Em 2018, as percentagens de exportação para cada país estão representadas na Figura 4. Pode ser observado que a Espanha e a Alemanha são os dois países que mais exportam produto nacional, num total de 40% de todo o material exportado.

Exportações na Indústria de Moldes

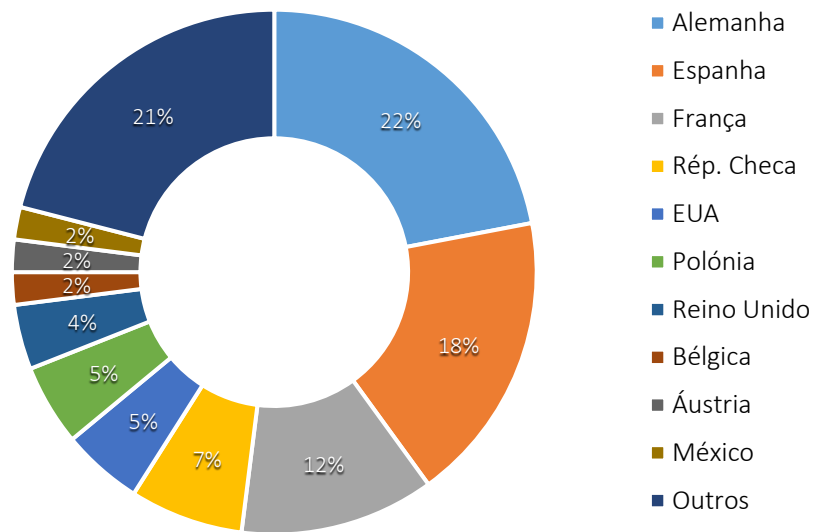


Figura 4 - Exportações Nacionais na Indústria dos Moldes (Cefamol, 2017)

Na indústria automóvel, setor onde a Schneider Form se foca essencialmente, um dos objetivos prioritários é a redução de peso final do produto. Com a constante evolução dos polímeros, cada vez mais são as peças metálicas substituídas por peças plásticas, com características mecânicas aproximadas e com pesos bastantes inferiores. Através da análise da figura 5, a indústria automóvel tem vindo a consolidar o seu crescimento e importância no desenvolvimento do setor de moldes.

Finalidades da Produção de Moldes

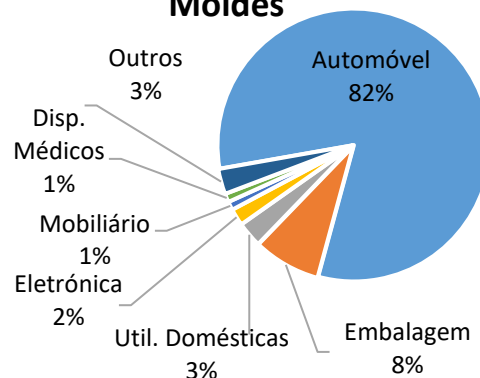


Figura 5 - Finalidades da Produção de Moldes (Cefamol, 2017)

2.1.3 O molde de Injeção de Plásticos

2.1.3.1 *Moldação a Quente de Plásticos*

Para a moldação a quente de plásticos, os processos mais comuns são:

- i. Moldação por injeção;
- ii. Moldação por compressão;
- iii. Extrusão;
- iv. Moldação por sopro;
- v. Moldação por transferência.

Contudo, por este testemunho escrito se tratar de um projeto de um molde para a injeção de uma peça em plástico, irá ser abordado apenas o processo de moldação por injeção.

2.1.3.2 *Moldação por injeção de Plásticos*

Um molde em aço para injeção de plástico, é uma ferramenta complexa e de alta precisão. Segundo Simsir et al. (2009) e Pousa (2008), este molde deverá possibilitar:

- i. A produção de peças de alta qualidade num tempo de ciclo mais curto possível;
- ii. Possuir o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço;
- iii. Definir os volumes com a forma das peças a produzir, assegurando a reprodutibilidade dimensional, de ciclo para ciclo;
- iv. Permitir o enchimento desses volumes com o polímero fundido;
- v. Facilitar o arrefecimento do polímero;
- vi. Promover a extração das peças.

O projeto de um molde é uma tarefa complexa visto que depende de vários fatores que definem o tipo de molde a produzir, como a dimensão, o grau de complexidade da peça a produzir, os aspetos económicos e tecnológicos, devendo-se também ter em conta o número de cavidades, o número de peças a produzir, bem como especificações de fabrico exigidas por parte do cliente e as especificações e características da máquina onde se vai proceder à injeção do termoplástico (ASCAMM, 2001). Nos equipamentos mais antigos, o material ou o plástico era injetado no molde por meio de um êmbolo. Atualmente, os equipamentos utilizam um mecanismo de fuso móvel que permite injetar o material fundido no interior do molde. O método do fuso móvel é vantajoso em relação ao do êmbolo pois, obtém-se uma melhor homogeneidade do material fundido (Smith, 1998).

2.1.4 Ciclo de Moldação

A moldação por injeção, por ser um processo cíclico, designa-se por ciclo de moldação, por ser um conjunto de operações necessário à produção de uma peça moldada. A otimização do ciclo de moldação é fundamental para assegurar a competitividade económica do processo, devido ao investimento inicial para a instalação deste tipo de material como a injetora, molde e equipamentos auxiliares para assegurar o sucesso da instalação (figura 6).

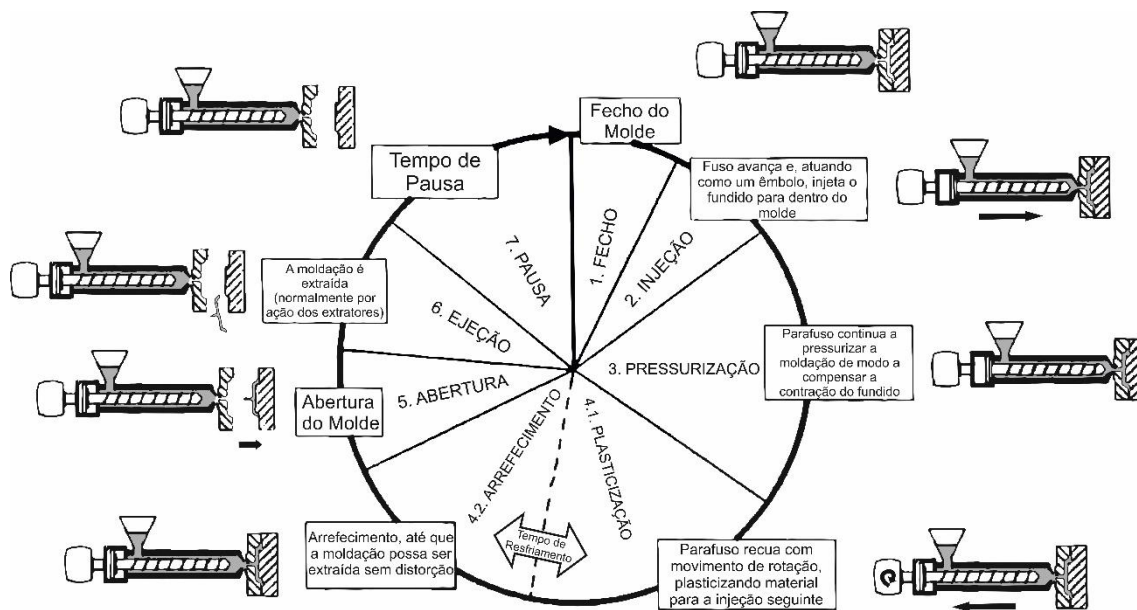


Figura 6 - O ciclo de moldação por injeção (adaptado de Cunha & Pouzada, 1997)

Segundo Ferri et al. (2009), Hecke et al. (2003) e Cunha & Pouzada (1997), o ciclo de moldação pode ser dividido nas seguintes etapas:

- i. **Fecho:** trata-se da primeira fase onde o molde se encontra em condições de operar e está pronto a ser injetado. Este processo deve ser realizado o mais rápido possível, porém existem limitações às velocidades a utilizar para o fecho do molde. Existe também a necessidade de o encosto das suas duas partes (a parte fixa e móvel) ser suave, para evitar a danificação das superfícies de ajustamento, podendo haver eventuais movimentos internos no molde, que se desenvolvam simultaneamente com o avanço deste. Uma das formas de poupar algum tempo nesta fase é a minimização do intervalo de abertura entre as metades dos moldes, ajustando a máquina para o seu valor mínimo de abertura para que esta possibilite a remoção total da peça moldada e o ajuste das velocidades utilizadas no fecho das duas partes do molde (figura 7).

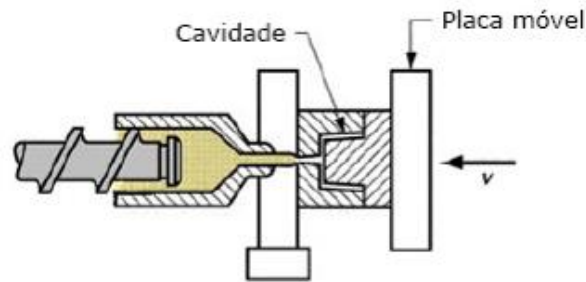


Figura 7 - Fecho do molde

- ii. **Injeção:** nesta segunda fase, a injeção é garantida pelo avanço linear do fuso que, funcionando como um êmbolo, força o material fundido (previamente depositado à sua frente) a entrar e a fluir dentro do molde (figura 8). Devido à diferença de temperatura entre a unidade de injeção e o molde, o percurso entre os dois deve ser o mínimo possível, de forma a que o fundido tenha a capacidade de fluir dentro do molde apesar da diminuição de temperatura. A velocidade de injeção deve corresponder a um ajuste entre rapidez (para assegurar o enchimento global da impressão) e a qualidade do produto final. Utilização de velocidades muito elevadas podem gerar marcas na superfície, efeitos de jato ou sobreaquecimentos da matéria-prima). É prática comum utilizar-se caudais de injeção de 50 a 500 g/s.

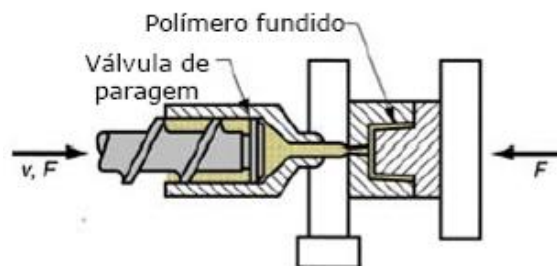


Figura 8 - Injeção

- iii. **Pressurização:** de forma a compensar a contração por arrefecimento e evitar o refluxo do material fundido, existe uma contínua pressurização do molde. No entanto, a pressurização não deve ser exagerada pois daí podem resultar danos na peça, como o desenvolvimento de tensões internas e dificultar a sua extração. Esta fase termina logo que a entrada do material nas zonas moldantes, ou a própria peça, estejam solidificados. O ajuste desta fase é essencial para a qualidade do processo.

- iv. **Plasticização e Arrefecimento:** com os canais solidificados, não é possível introduzir mais material, então o fuso começa a rodar iniciando a plasticização do material para o ciclo seguinte (figura 9). Durante este processo, o fuso é recuado devido ao efeito da pressão criada pelo material fundido que se vai depositando na sua frente. A moldação continua a arrefecer no molde. Quando o volume pretendido estiver doseado, o fuso para. Esta fase termina assim que a peça atinge uma temperatura que permita a desmoldação sem distorção. Esta fase do ciclo consiste numa dispersão de calor transportado pelo material, dependendo da espessura da moldação e do sistema de arrefecimento. Nesta fase, uma velocidade de arrefecimento baixas, garantidas por temperaturas de molde elevadas, garantem uma redução de tensões internas, mas por outro lado há aumentos significativos do tempo de ciclo (Centimfe, 2004).

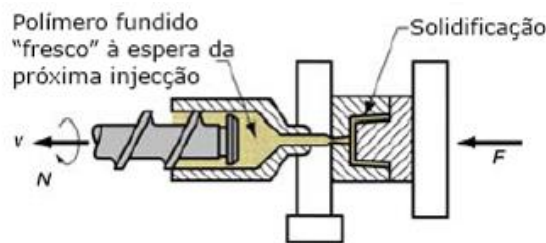


Figura 9 - Plasticização e arrefecimento

- v. **Abertura:** após o arrefecimento, dá-se a abertura do molde e a extração da peça (figura 10). O tempo utilizado nesta operação é função da máquina, tendo em conta as suas características de fecho e de deslocamento do molde na abertura. É usual a utilização de dispositivos auxiliares de manipulação para garantir um elevado grau de automatização do processo (Centimfe, 2004).

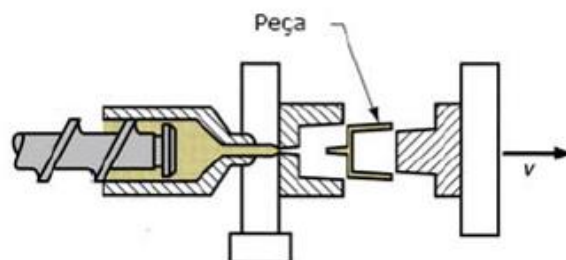


Figura 10 - Abertura do molde e extração da peça

- vi. **Pausa:** a sexta fase é definida pelo período que decorre entre o fim da extração da peça e o início do novo ciclo. O tempo de pausa depende da aptidão do operador, do nível de automatização do molde e do tipo de afinação utilizada (Centimfe, 2004). Nos casos em que a máquina se encontra

em modo automático, onde o processo se desenvolve integralmente segundo uma sequência pré-definida e sem a intervenção do operador, o tempo de execução é reduzido. Contudo, pode ser prolongado nos casos em que a remoção é feita manualmente, onde a sequência de operações é definida e acionada pelo operador, quando há colocação de insertos ou alguma manutenção às superfícies do molde. Conforme representado na figura 11, a variação da pressão é significativa durante todo o processo. Até à fase da compressão, inclusive, a pressão aumenta de forma rápida atingindo o pico de pressão na cavidade do molde. Após esta fase, a pressão diminui progressivamente, aumentando a velocidade de descida na fase da contração da moldação.

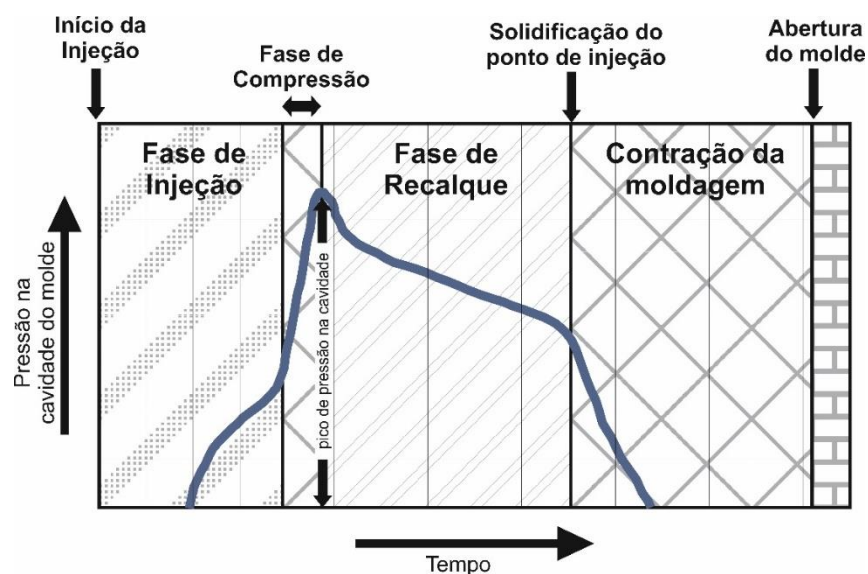


Figura 11 - Variação da pressão durante o processo de moldação por injeção (Moldes Injeção Plásticos) (adaptado de Moreira (2015))

Segundo Smith (1998), o processo de modelação por injeção apresenta vantagens e inconvenientes:

Vantagens

- É possível a produção de peças de alta qualidade com elevadas velocidades de produção;
- Baixos Custos laborais;
- Obtenção de bons acabamentos superficiais na peça final;
- Possibilidade de automatização do processo;
- Possibilidade de serem concebidas geometrias complexas.

Inconvenientes

- Há uma necessidade de produção de grandes quantidades de peças, de forma a contrabalançar o elevado custo da máquina de injeção e do molde;

- Para conseguir produtos de qualidade, há a constante necessidade de controlar o processo com rigor.

2.1.5 Constituição do Molde de Injeção

2.1.5.1 Molde de três placas

Contrariamente ao molde de duas placas (figura 14), que apenas tem uma abertura, o molde de três placas possui duas aberturas, contendo para além das habituais placas fixa e móvel, uma terceira placa intermediária, pretendendo simultaneamente ao sistema de distribuição e à zona de moldante, designada como flutuante.

Na figura 12, pode ser observado um molde de três placas fechado e os dois planos de separação abertos.

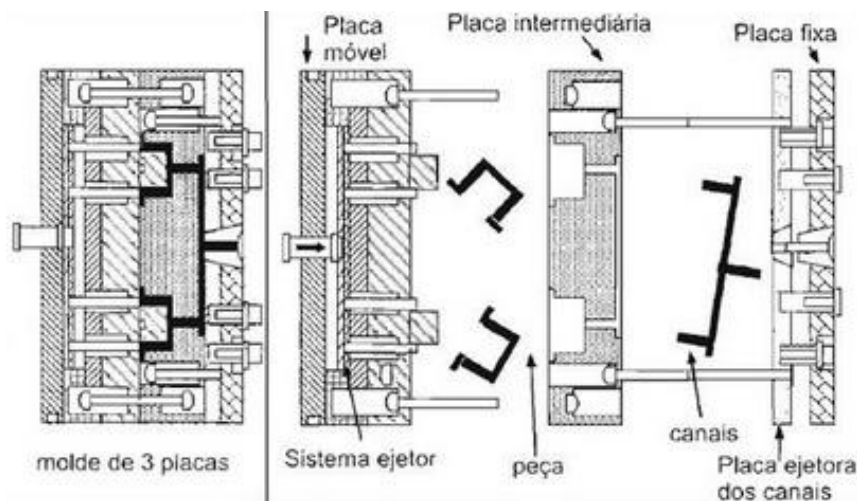


Figura 12 - Molde de 3 Placas e dois planos de separação abertos (Lidomar, 2012)

2.1.5.2 Moldes Sandwich

Os moldes sandwich (figura 13) possibilitam a duplicação da quantidade de peças a moldar. Com o auxílio da máquina de injeção, ocorre a abertura do molde em andares, representado na Figura 10. O conjunto das cavidades (A) fica a meio dos conjuntos de machos (B). Esta separação resulta do movimento do sistema de cremalheiras. Quando ocorre a abertura e fecho do molde, é necessário ter em conta que o conjunto das cavidades não se desalinhe dos guiamentos, devendo-se pressupor a uso de barras de apoio no próprio molde ou nas colunas da máquina (Eigl et al., 1998). Para que a parte que suporta as cavidades fique no meio com a abertura da máquina, os acionamentos podem ser efetuados por (i) tirantes, (ii) cremalheiras (mais utilizado), (iii) rodas dentadas (mais utilizado), (iv) hidráulicos e, (iv) alavancas. Para a extração, esta pode ser feita através de tirantes com o movimento de abertura da máquina (C), apesar de ser o método menos utilizado. (Moreira, 2015). Além dos tirantes, a extração pode também ser feita através de hidráulicos e braços ligados a processos de alavancas.

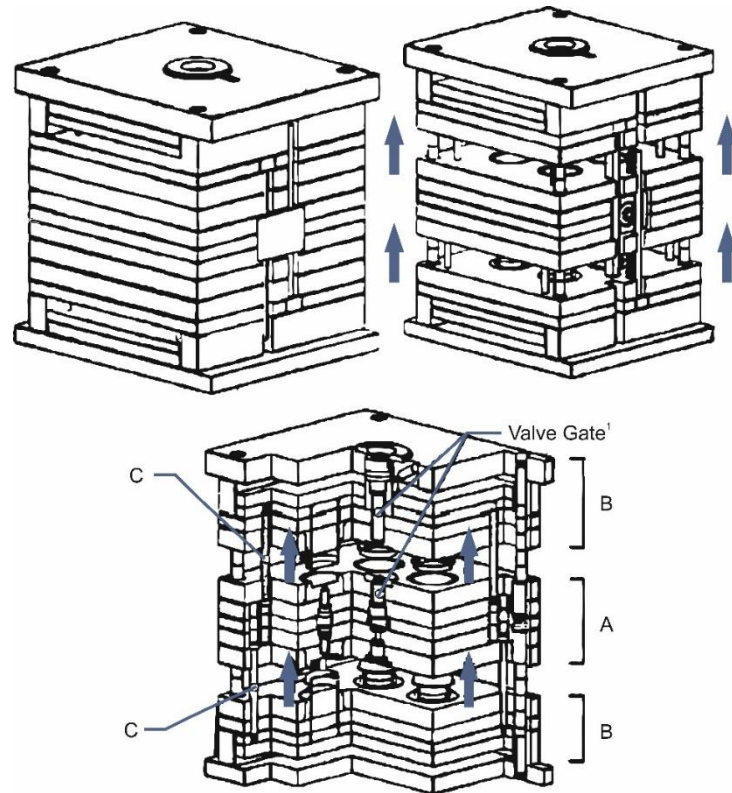


Figura 13 - Representação de molde sandwich e sua abertura (CENTIMFE, 2004) citando (Moreira, 2015)

¹ Método de moldagem por injeção que usa um fecho mecânico para abrir e fechar o orifício de entrada

2.1.5.3 Molde de duas placas

A estrutura característica de um molde de injeção de duas placas (figura 14), tratando-se do mais comum e mais simples em que as duas metades abrem segundo o seu eixo de desmoldagem, chamado plano de apartação, é ser constituído por uma parte fixa - lado de injeção - e por um lado de móvel - lado da extração -, sendo que cada uma das partes é composta por um conjunto de placas e calços, onde o número de placas muda conforme o tipo de molde (Pye et al., 1989). O molde é concebido sob medida e é composto pelos seguintes constituintes:

- Gito e canais de alimentação;
- Ataque;
- Guiamento;
- Sistema de escape de gases;
- Cavidade do molde;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema ejetor.

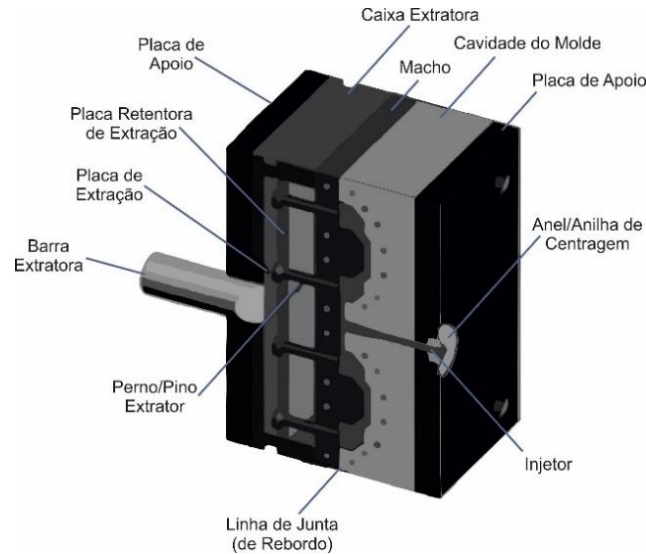


Figura 14 - Molde de duas placas (CustomPartNet, s.d.)

Segundo Tang et al. (2007) e Ventura (2016), na placa que contém a cavidade do molde, denominada de parte fêmea do molde, é definida a forma exterior da peça produzida. Nota-se que a cavidade e a bucha podem estar situadas, indiferentemente, na parte fixa ou na parte móvel do molde. No entanto, é mais comum a configuração descrita anteriormente, já que esta facilita a extração das peças.

O sistema de centragem e guiamento permite, por um lado, montar o molde na máquina, e por outro, ajustar as partes do molde, assegurando a reprodutibilidade dimensional das peças. O sistema de alimentação permite a passagem do polímero desde o cilindro da máquina de injeção até às zonas moldantes, permitindo o seu enchimento. O sistema de escape de gases permite que o ar existente nas zonas moldantes possa sair, possibilitando o seu enchimento. O sistema de controlo da temperatura ou de arrefecimento contribui para o arrefecimento e solidificação mais eficiente das peças. O sistema de extração permite a ejeção das peças (Saraiva, 2016). Os calços definem o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde vai ser instalado o molde. Para dar rigidez ao conjunto, as placas têm de ser aparafusadas e encavilhadas entre si, de forma a criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão (Fu et al., 2001). As cavilhas, que entram justas nos furos, impedem esses movimentos, mas não a separação das placas. Assim, estes dois elementos devem andar sempre combinados. (Harada, 2004).

Algumas funções de partes constituintes deste molde (Jaruga & Bociaga, 2007; Ventura, 2016) são:

- i. A principal função do anel de centragem é centralizar a bucha com o bico de injeção.

- ii. A bucha de injeção serve para possibilitar a passagem do material plástico fundido do bico da injetora ao canal de enchimento ou distribuição.
- iii. As molas matrizes são fabricadas em liga de aço cromo de alta resistência, tem as pontas quadradas e sua função é suportar as cargas de choque e constantes deflexões á alta velocidade. O significado da sua simbologia de cores é: (a) verde – serviço leve; (b) azul – serviço médio; (c) vermelho – serviço pesado e (d) amarelo – serviço extrapesado.

2.1.6 Máquina Injetora

A origem da máquina de injeção (figura 15) remonta ao ano de 1872, mas só em 1921, H. Buchholz contruiu a chamada “primeira” máquina de injeção manual. Mais tarde, em 1926, Eckert e Ziegler GmbH produziram as primeiras máquinas de injeção em série, apesar de o molde ainda ser fechado manualmente, a injeção já era feita de forma pneumática. As máquinas eram já construídas para operar horizontalmente, tal como é utilizado atualmente.

Em 1956, iniciou-se a “revolução” das máquinas de processamento de plástico, com a introdução do fuso como componente de plasticificação e injeção sob pressão. Essa máquina já apresentava todos os componentes de uma máquina de injeção moderna (Matos, 2016).

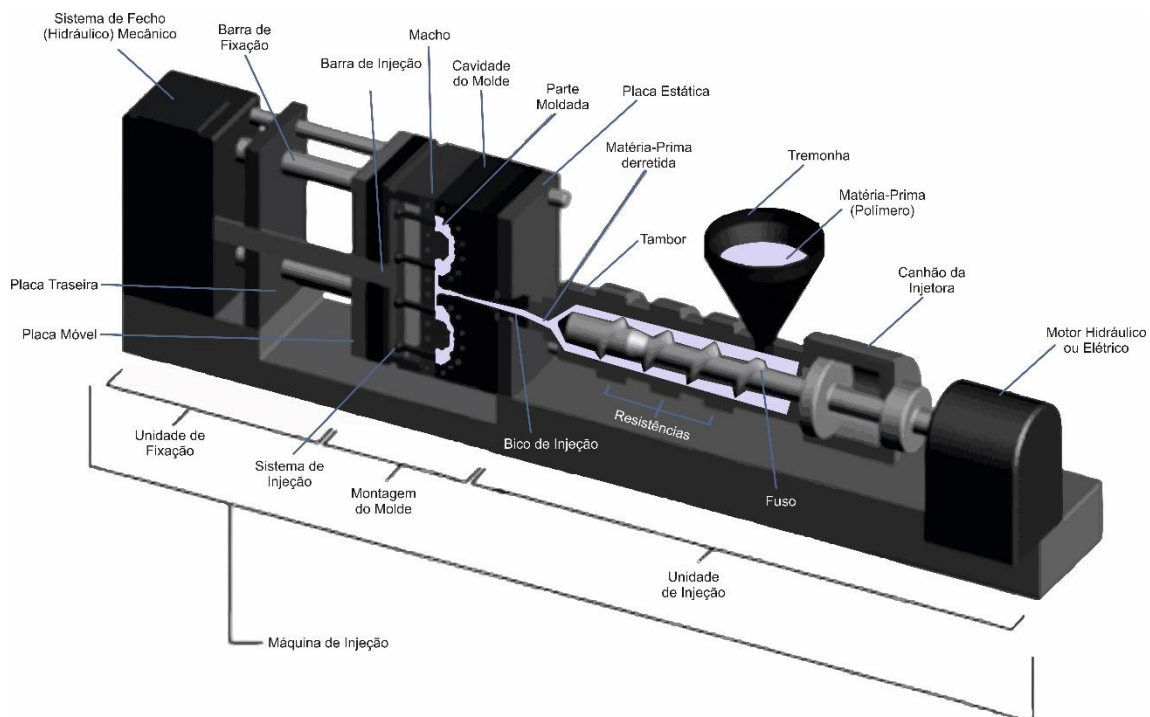


Figura 15 - Máquina injetora (adaptado de CustomPartNet, 2018)

A máquina injetora consiste numa estrutura rígida que, de um lado, suporta o mecanismo de movimentação do molde, e do outro, um cilindro aquecido no interior do qual existe um fuso, onde se faz a plasticização do polímero (Tsoi & Gao, 1999).

A rotação do parafuso pode ser realizada por um motor elétrico ou hidráulico, sendo o movimento de avanço garantido por um cilindro hidráulico. O refluxo de material para o canal do parafuso é impedido por uma válvula antirretorno (Mota, 2017).

Atualmente, é possível escolher uma máquina de injeção dentro de uma grande variedade de produtos, tamanhos e modelos. De acordo com Ogorodyk & Martinsen (2018) e Silva (2015), as características que determinam a seleção de uma máquina são:

- Força de fecho (expressa em kN ou ton);
- Distância entre colunas;
- Curso máximo de abertura;
- Espessura mínima e máxima dos moldes;
- Peso máximo do molde;
- Dimensões dos pratos;
- Curso de extração;
- Força de extração.

A máquina de injeção, como representada na Figura 14, pode ser classificada de diferentes formas: (i) quanto à natureza dos materiais a processar, (ii) quanto ao tipo de acionamento, (iii) quanto à dimensão e (iv) quanto aos seus aspetos construtivos. Contudo, a constituição de uma máquina de injeção é baseada em quatro elementos principais que asseguram o ciclo típico de transformação dos materiais plásticos - unidade de injeção, de fecho, de potência e de comando - envolvendo sequencialmente as seguintes etapas: aquecimento do material até este adquirir uma viscosidade suficientemente baixa, moldação sob pressão e arrefecimento com consequente recuperação de rigidez (Bom, 2014).

- **Unidade de injeção** - Realiza o transporte, aquecimento, plastificação e homogeneização do material desde a tremonha até ao bico de injeção; garante também a posterior injeção e compactação do material fundido. Aqui se situa dois dos componentes fundamentais da máquina injetora - bico de injeção e o fuso. (Bom, 2014)
- **Bico de Injeção** - O bico de injeção assegura a comunicação entre a unidade de plasticização e o molde. Uma má performance deste elemento afeta a qualidade do produto final, além de condicionar todo o processo de produção. O bico de injeção deve manter o material no estado fundido, evitando assim a sua solidificação prematura, o escorrimento para o exterior e a oxidação do material pastoso (Moreira, 2015). Existem dois tipos de bicos de injeção: aberto e fechado. O bico aberto é o mais utilizado pela simplicidade da sua construção, minimização da obstrução ao fluxo e da criação de pontos de retenção, impossibilitando a tendência de o material fundido fluir para o exterior através do retrocesso do fuso após a plasticização. No entanto, alguns materiais não permitem a utilização de bico aberto, optando-se pela utilização do bico fechado,

devido (i) aos polímeros fundidos com baixa viscosidade, fluem com facilidade para o exterior, (ii) o recuo do fuso pode proporcionar a entrada de ar no interior do material fundido e (iii) o arrefecimento localizado pode provocar defeitos no produto final (Wu et al., 2017).

- **Fuso** - O fuso (figura 16) é o principal constituinte da unidade de injeção. Para cada matéria-prima a processar, deve-se utilizar um fuso com geometria otimizada para o efeito, no entanto devido a obstáculos financeiros e produtivos da indústria, utiliza-se frequentemente fusos standard para a maioria dos polímeros (Moreira, 2015).

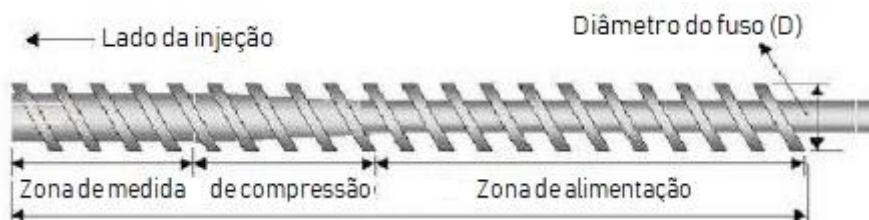


Figura 16 - Fuso Standard

Segundo Rosato (2000) e Marujo (2014), o fuso pode ser dividido em três zonas:

1. Zona de alimentação – possui um maior diâmetro na zona dianteira do que na retaguarda e realiza o transporte de matéria-prima para a zona de compressão e pré-aquece o material;
2. Zona de compressão – é uma zona de transição onde existe um progressivo aumento do diâmetro do fuso e onde se inicia a plastificação através da compressão do material. Desta forma, é diminuído o espaço entre o fuso e o cilindro estimulando os mecanismos de fricção, corte e compressão do material, sendo gerado um calor adicional. Esta secção tem de ser suficientemente demorada para garantir que o material é completamente fundido.
3. Zona de medida – trata-se da zona final, onde a altura dos filetes do fuso é muito diminuída. Existe uma homogeneização do material e é estabelecida uma temperatura uniforme.

Segundo Cunha & Pouzada (1997), os comprimentos das diferentes zonas do fuso dependem da forma como o polímero se comporta. O comprimento do fuso influencia a relação L/D (comprimento/diâmetro). O fuso típico de moldação por injeção apresenta uma relação L/D = 20. Contudo, para um maior desempenho ao nível da plasticização, têm sido ensaiados fusos com L/D de 22 a 25. Alguns elastómeros ou materiais de grande sensibilidade térmica utilizam razões L/D inferiores (15 a 18).

A **unidade de fecho** garante a fixação e a movimentação do molde, sendo capaz de o manter fechado durante as fases de injeção e de pressurização. Construtivamente, corresponde a uma prensa que tem de ser capaz de suportar a força resultante da injeção do plástico, incorporando também os dispositivos à extração das moldações.

A **unidade de potência** faculta a energia adequada aos diversos atuadores da máquina. É baseado num sistema de pressão óleo-hidráulico, cuja bomba é acionada por um motor elétrico, ou eventualmente baseado em um sistema pneumático.

Unidade de controlo: garante a repetibilidade e a consistência do funcionamento da máquina. Nesta unidade estão centralizadas as operações e os dispositivos necessários a assegurar a monitorização e controlo das diversas variáveis do processo, assegurando, também a interface com o operador e as comunicações com periféricos ou sistemas de gestão da manutenção. As principais variáveis de funcionamento são a temperatura do fundido, a temperatura do molde, a pressão de injeção e de compactação, o tempo de enchimento e o tempo de compactação (CENTIMFE, 2004).

2.2 Análise e melhoria de processo

Mais do que nunca, o sucesso de uma empresa baseia-se na constante procura de melhoria do seu desempenho produtivo e comercial, aumentando cada vez a eficiência em todos os seus processos (Pereira et al. (2016), citado de Silva (2018)). A melhoria da produção industrial passa por se identificar, analisar e melhorar os processos de uma empresa, melhorando a qualidade, removendo os desperdícios e mantendo as melhorias alcançadas (Aqlan & Al-Fandi, 2018).

Neste capítulo, é apresentada uma breve revisão da literatura sobre a análise e melhoria de alguns processos de fabrico, onde se verificaram claras evidências de melhorias na aplicação de vários conceitos teóricos em empresas. Estas melhorias ajudam-nas a alcançar os seus objetivos de produção, utilizando ferramentas *Lean*. A filosofia *Lean* sugere um conjunto de técnicas que propõem o aumento do valor dos produtos fabricados, através da aplicação correta de várias ferramentas, procurando fabricar produtos e prestar serviços a um preço mais reduzido e à velocidade desejada pelo cliente (Bhamu & Sangwan, (2014) citado de Pena (2019)), otimizando os processos “mais valiosos” e suprimindo os processos que não acrescentam valor ao produto final (Dickson et al., (2009)).

Na Tabela 1, são apresentados alguns casos descritos na literatura sobre de análise e melhoria de processos, que permitem demonstrar algumas melhorias alcançadas através da implementação de ferramentas *Lean*, comprovando a mais valia para as empresas desta metodologia.

Tabela 1 - Revisão da literatura de análise e melhoria de processos.

Referência Bibliográficas	Descrição do trabalho
Álvares et al. (2007)	O propósito deste trabalho foi avaliar o impacto da manutenção, centrada na fiabilidade na geração de energia elétrica. Neste sentido, foi realizado um estudo FMEA para uma turbina do tipo <i>Kaplan</i> , que é utilizada pela central hidrelétrica da Balbina, Amazonas. Foram identificados três componentes críticos no sistema, pelo que estes padecem de manutenção preventiva.
Atieh et al. (2016)	Aplicou-se a filosofia <i>Lean</i> numa fábrica de produção de vidro, situada na Jordânia. Primeiramente, elaborou-se um <i>VSM</i> para definir onde seriam aplicadas as várias ações de melhoria, identificando os <i>bottlenecks</i> da produção. Foi utilizado um simulador para avaliar as alterações a introduzir, de forma a credibilizar as ações de melhoria antes de concretizar um grande investimento, sem a garantia da obtenção dos objetivos. Foi demonstrado uma diminuição de 6% no lead time produtivo e um incremento de 32% no desempenho do principal <i>bottleneck</i> .
Arabian et al. (2010)	A análise <i>FMEA</i> tem sido utilizado para estudar a fiabilidade de sistemas de geração de energia. Este estudo aplica o método para uma turbina eólica, comparando com o software desenvolvido pela empresa que a vende, com o intuito de estabelecer relações para futuros projetos de turbinas eólicas. Os dados obtidos pela análise <i>FMEA</i> foram comparados com dados da taxa de falha e mostraram semelhanças, comprovando assim, a análise executada. Neste sentido, foram identificadas as peças constituintes da turbina que não eram fiáveis, podendo assim ser útil no futuro na projeção de novas turbinas.
Baldaia (2016)	O objetivo foi a aplicação de conceitos <i>Lean</i> em várias indústrias de retalho, desenvolvido na empresa <i>Kaizen Institute Consulting</i> . A ferramenta <i>VSM</i> foi empregue na loja Hiper de São Caetano, o que permitiu uma melhoria de 30% no tempo de resposta e redução de 25% no <i>stock</i> de carne. Com a ferramenta 5'S, foi possível na loja de Osasco um ganho de 30% na reposição no total da receção de mercadoria. No Hiper São Caetano do Sul, com a mesma metodologia, houve um aumento de 30% da produtividade.
Baynal et al. (2018)	Este trabalho foi realizado para uma empresa da indústria automóvel e teve como intuito propor soluções para problemas existentes nas linhas de montagem. Foi proposto uma análise <i>FMEA</i> que resultou na identificação de três falhas em várias linhas. Relativamente à linha de montagem de um degrau de uma porta, houve uma melhoria de 96%. Na segunda e terceira linha, o problema foi resolvido completamente, tendo assim, uma melhoria de 100%.

Chiozza & Ponzetti (2009)	Neste trabalho foi descrito as principais etapas do processo <i>FMEA</i> e analisados os dados disponíveis da aplicação desta técnica, para a medicina de laboratório. Foi conseguida uma redução significativa do número de prioridade de risco em vários departamentos do laboratório, como o da colheita de sangue, recolha de análises e pontos de atendimento.
Choomlucksana et al. (2015)	Neste trabalho, foram aplicadas ferramentas <i>Lean</i> como o controlo visual, <i>Poka-Yoke</i> e <i>5S's</i> , para aumentar a produtividade numa indústria de submontagem de estampagem de chapa metálica, de forma a reduzir os desperdícios e aumentar a eficiência. Através da observação dos processos da fábrica verificaram-se quais os que geravam mais atividades sem valor acrescentado, sendo esses os procedimentos onde foi mais urgente atuar. Os resultados demonstraram melhoras nesses processos, verificando-se numa diminuição do tempo de processamento no setor de polimento de 62,5% (de 6582 para 2468 segundos), um decréscimo de atividades sem valor acrescentado de 66,53% (1086 para 261 segundos) e numa redução de custos de horas extraordinárias de 1764 dólares por ano.
Das et al. (2014)	Foi introduzida a metodologia <i>lean manufacturing</i> com o objetivo de otimizar a produtividade de uma empresa de bobinas de ar condicionado (<i>Blue Star Limited</i>). Os resultados da implementação desta metodologia, mostram que a produção de bobinas aumentou 77%, por turno. As ferramentas <i>Lean</i> (<i>VSM</i> , <i>SMED</i> e <i>Kaizen</i>) foram aplicadas para diminuir o tempo de <i>setup</i> na máquina de expansão de bobinas de em 67%. O acréscimo do valor passou de 5 para 12%.
Ketan & Yasir (2015)	Concretizado numa indústria elétrica, em Bagdad, foi utilizada a ferramenta de <i>lean manufacturing</i> , <i>VSM</i> , com a intenção de elevar a produtividade, diminuindo o lead time produtivo. Assim, foi possível identificar todas as atividades do processo (com e sem valor acrescentado) e suprimir desperdícios (atividades sem valor acrescentado), ao substituir o sistema de produção “empurrado” para “puxado”, recorrendo a estratégias pull como <i>kanban</i> e <i>FIFO</i> . A implementação de princípios <i>Lean</i> gerou uma diminuição do lead time em 33%.
Mojib, Hashemi, Abdi, Shahpanah, & Rohani (2014)	Aplicou-se numa indústria de produção de componentes automóveis, a ferramenta <i>VSM</i> , com o objetivo de identificar e excluir os desperdícios e atividades sem valor acrescentado. Foi realizada uma recolha de dados para definir o futuro <i>VSM</i> com as melhorias apresentadas após a análise dos dados. Com a implementação das ações de melhoria, verificou-se um decréscimo no lead time de 23,5 para 4,5 dias e um aumento de 12% no tempo de valor acrescentado.
Pena (2019)	O propósito foi dar resposta ao aumento de encomendas da <i>Efacec Electric Mobility</i> . Através da aplicação do pensamento <i>Lean</i> , houve uma redefinição dos processos produtivos, aplicação da ferramenta <i>5S</i> , regulação da produção através de <i>kanbans</i> , etc. Os resultados

	demonstram que foi possível reduzir em 82.1% o tempo de ciclo do corte de calhas, em 38.2% as calhas DIN e em 50% a mão de obra. Também foi possível reduzir na seção de cablagem, o tempo de <i>changeover</i> do corte e reduzir a variabilidade de referência em 14.9% e 24.5%, respetivamente.
Rohani & Zahraee (2015)	Neste trabalho, foi aplicada a ferramenta VSM numa indústria produtora de tinta, para melhorar a sua linha de produção, ao eliminar desperdícios e, conseqüentemente, reduzir o lead time. Para alcançar este objetivo, foram aplicados alguns princípios <i>Lean</i> (criação de equipas de trabalho, seleção de produtos, design conceptual e formulação de cronograma através do cálculo do <i>takt time</i>). Alterou-se a produção para um sistema pull regulado por <i>kanbans</i> e aplicaram-se alguns princípios 5S. Os resultados mostram que o lead time produtivo reduziu de 8,5 para 6 dias e o tempo que acrescenta valor reduziu de 68 para 37 minutos.
Silva (2018)	O trabalho desenvolvido para a empresa Flamingo – Indústria da Ourivesaria SA, pretendia melhorar os processos de produção do setor “joalheria”. Utilizando os pressupostos do <i>Lean</i> , foram propostas melhorias, tais como i) a elaboração de um dossier de produto, ii) a elaboração de um documento pró-forma de ordens de fabrico, iii) de um método para a determinação de prioridade de produção, iv) a aplicação da ferramenta 5S, entre outras, levando a uma redução de lead time de 37% e uma redução de 51% do desvio-padrão deste.
Wulff (2014)	Neste trabalho, realizado na Samvardhana Motherson Peguform (indústria automóvel), foi utilizada a ferramenta de <i>Lean</i> e <i>VSM</i> , contribuindo para uma redução de 20% o inventário na linha dos para-choques moldados e 30% do inventário nos pintados, reduzindo em 15% o tempo de entrega nesta linha. Na linha dos <i>fontends</i> , reduziu-se o inventário em 45%, diminuindo, assim, o tempo de entrega em 19%. Por último, na linha dos painéis de porta, houve uma redução de 31% na sua montagem, melhorando em 4% o tempo de entrega.

2.3 Lean Manufacturing

Após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 40, surgiu a necessidade de customização em massa, pelo que alguns mercados não se enquadravam. Neste sentido, a empresa japonesa *Toyota Motor Company*, sob a liderança de Taichi Ohno começou a desenvolver uma alternativa à produção em massa, criando *Toyota Production System (TPS)*, conseguindo assim gerir o sistema de produção de forma diferente (Ohno, 1988).

Segundo Almeida (2015), o *TPS* foi ganhando adeptos por todo o Japão nas décadas seguintes, chegando mais tarde aos Estados Unidos. Vários autores começaram a definir esta filosofia de produção, mas apenas em 1990, os autores James P. Womack, Daniel Roos e Daniel T. Jones, no livro “*The machine that changed the world*”, aplicaram o termo “LEAN”. A utilização deste termo justifica-se pelo facto de haver uma redução de

recursos quando comparado com o processo da produção em massa. (Moreira & Pais, 2011).

Neste sistema de produção, era garantindo que as capacidades dos trabalhadores estavam a ser aproveitadas ao máximo e estes a ser tratados com consideração (Sugimori et al., 1977), utilizando menos equipamentos, com uma diminuição do tempo e do espaço necessários e, ainda, um menor *stock* em curso. Como resultado, obteve-se uma produção com mais qualidade e variedade, apresentando menos defeitos, tendo sempre em consideração o que o cliente pretende, procurando sempre satisfazer os seus desejos e, se possível, exceder as suas expectativas em relação a um determinado produto ou serviço.

O grande sucesso da filosofia de gestão *Lean*, fez com que os princípios e as ferramentas aplicadas à produção na indústria automóvel, comesçassem a ser adaptados a diferentes setores, obtendo resultados igualmente satisfatórios (Lean Enterprise Institute, 2019).

2.3.1 Princípios do Lean

De forma a melhorar os métodos de fabrico, Womack & Jones (2003) definiram cinco princípios fundamentais da filosofia *Lean*, que podem ser aplicadas a todo o tipo de problemas industriais, como forma de eliminar os desperdícios:

- i) **Especificação do valor** - Womack e Jones (2003) descrevem o valor, como a capacidade de providenciar no tempo certo e com o preço apropriado os produtos e ou serviços, acordados com o cliente.
- ii) **Cadeia de Valor** - São um conjunto de todas as atividades necessárias para transformar matérias-primas e informação num produto ou serviço, ou mesmo a combinação de ambos (Almeida, 2015). Também é necessário separá-los em três tipos: a) processos que acrescentam valor, b) processos que não acrescentam valor, mas são necessários para a sua manutenção e c) processos que não acrescentam valor (Werkema, 2006).
- iii) **Fluxo** - Deverá ser sempre promovido o fluxo de material entre cada atividade ou processo da cadeia de valor (Womack & Jones, 2003). Segundo Apte & Goh (2004), esta é uma forma simples de eliminar desperdícios, uma vez que a criação de fluxo elimina os tempos de paragem ou de espera.
- iv) **Implementar o sistema Pull** - A implementação deste método produtivo conduz à redução dos *stocks*, uma vez que o fundamento da metodologia Pull é que um determinado produto só seja produzido após uma ordem do cliente (Gonçalves, 2017). Após essa ordem, é gerada uma necessidade de produção de um

determinado produto, numa determinada quantidade e numa data de entrega específica (Womack & Jones, 1996).

- v) **Perfeição** - Também conhecido por “melhoria contínua” ou “*kaizen*”, pressupõe a assimilação de uma cultura de melhoria constante em busca da perfeição. Tendo em conta que a perfeição nunca é alcançada, será sempre possível melhorar a partir da situação atual (Barros, 2010).

Contudo, estes cinco princípios apresentam algumas lacunas, tendo por esse motivo, a Comunidade *Lean Thinking* proposto a adoção de mais dois princípios:

- vi) **Conhecimento dos stakeholders** – deverão ser conhecidas todas as partes interessadas do negócio, pelo que a empresa não deve focar-se somente na satisfação do seu cliente, negligenciando os interesses e necessidades das restantes partes interessadas (Sunder, 2016).
- vii) **Inovar constantemente** - devem ser desenvolvidas ações no sentido da criação de novos produtos, serviços e processos, ou seja, da criação de valor (Pinto, 2009). Almeida (2015) afirma que as organizações não devem ignorar como criar valor através da inovação, ao entrar nos intermináveis ciclos de redução de desperdícios.

2.3.2 Desperdício – *Muda*

Muda é uma palavra japonesa que significa desperdício, num processo produtivo (Suzaki, 2013). Segundo Almeida (2015), Fujio Cho, da Toyota, definiu desperdício como “*tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamento, materiais, peças, espaço e mão-de-obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto*”.

Segundo Cruz (2013), para se identificar os tipos de desperdícios presentes numa empresa, é preciso conhecer bem todos os processos, e definir quais são aqueles que acrescentam valor ao produto e os que não acrescentam valor. As atividades que acrescentam valor são todas aquelas que fazem com que o produto contenha as características desejadas pelo cliente. Por sua vez, todas as restantes atividades são consideradas como desperdício, ou atividades que não acrescentam valor (Ortiz, 2006). Existem vários tipos de *muda*:

- i) **Sobreprodução** - Ocorre quando são produzidos mais produtos que os programados. Este excesso poderá levar ao aumento dos custos dos artigos em *stock*, ao desperdício de recursos e a um aumento do custo de transportes (Ohno, 1988).

- ii) **Tempos de espera** - corresponde ao tempo passado por pessoas ou equipamentos à espera de algo. Este tipo de desperdício pode ocorrer devido a vários problemas como layout, obstruções nos fluxos, atrasos nas entregas por parte dos fornecedores ou ao balanceamento incorreto de processos (Pinto, 2009). Segundo Rosa et al. (2017), o balanceamento de processos produtivos de acordo com a procura, a rápida mudança de ferramentas (*SMED*) ou modificações no layout dos postos de trabalho, são algumas das medidas que podem ser tomadas para se eliminarem tempos mortos, de forma eficaz.
- iii) **Transportes** – Segundo Pena (2019), os desperdícios relacionados com o movimento de bens devem ser reduzidos. O transporte implica também, um aumento de risco de danos no produto e um aumento da distância e tempo a percorrer o *feedback* de possíveis defeitos e respetiva ação corretiva.
- iv) **Operações e Processos desnecessários** - Qualquer operação ou processo que não acrescente valor ao produto representa um desperdício para as empresas, além de potenciar o aparecimento de defeitos na peça (Almeida, 2015). Segundo Pinto (2009), este tipo de desperdício é geralmente originado por falta de formação dos operadores ou pela ausência de processos normalizados.
- v) **Inventário** - Referem-se aos inventários de matéria-prima, produto acabado e em processamento (Ohno, 1988). Para Cruz (2013), elevados inventários implicam elevadas áreas de armazenamento, obrigando a um maior investimento para os manter. As dificuldades com os inventários são por vezes criadas por outros problemas de organização, como elevados tempos de *setup*, retrabalho, atrasos nas entregas, avarias dos equipamentos, entre outros.
- vi) **Defeitos** - A produção defeituosa, que não respeita as normas de qualidade exigidas, é um desperdício que exige o gasto de materiais, recursos humanos, energia, ocupação dos equipamentos, perda de tempo produtivo e desgaste dos equipamentos (Womack & Jones, 2003). Segundo Gonçalves (2017), a produção de componentes com defeito, deriva normalmente de erros de projeto, mas também pode ocorrer devido a erros de produção, comunicação, formação dos operários, à utilização de materiais errados, entre outros fatores.

2.3.3 Ferramentas Lean

O objetivo deste subcapítulo é apresentar uma breve descrição das ferramentas *Lean*.

2.3.3.1 Kaizen

A palavra *Kaizen* deriva de *Kai* – que define mudança -, e *Zen* – que define fazer melhor (Colenso, 2000). A metodologia *Kaizen* procura eliminar desperdícios de forma contínua

e gradual, com o intuito de aumentar a produtividade, sendo que a sua meta é a obtenção da perfeição. Para esta metodologia funcionar na sua plenitude, é necessário que haja envolvimento e dedicação de todos os colaboradores da empresa. *Kaizen* não é uma técnica que atua de forma independente, mas sim, uma técnica que engloba todas as técnicas de melhoria e faz a ligação entre cada ferramenta (Cruz, 2013).

Segundo Gupta & Jain (2014), o processo de implementação de um evento *Kaizen* consiste na i) definição da área a melhorar, ii) análise e seleção do problema, iii) identificação da causa a melhorar, iv) implementação do projeto de melhoria, v) medição, análise e comparação de resultados e vi) estandardização do sistema.

De acordo com Melnyk et al, (1998), geralmente os eventos *Kaizen* têm uma duração curta, tratando-se de sessões de trabalho de aproximadamente três a cinco dias, onde ocorrem atividades como i) treino de equipa, ii) documentação do estado atual, iii) identificação de oportunidades de melhoria, iv) seleção das melhorias, e geralmente, implementação, v) apresentação de resultados e vi) documentação de um plano de ações para atividades de acompanhamento.

É possível afirmar que a aplicação de ferramentas *Lean*, numa cultura de melhoria contínua, pode ser determinante para as organizações obterem vantagens competitivas (Antoniolli et al., 2017).

2.3.3.2 Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA é uma abordagem sistemática para a resolução de problemas. O objetivo da sua aplicação consiste em facilitar iniciativas de melhoria contínua (Rosa et al., 2017). Apesar de ter sido criado por Walter Shewhart nos anos 30, foi William E. Deming quem o divulgou o conceito no Japão, com sucesso, a partir dos anos 50.

Segundo Pinto (2009), Liker (2004) e Cruz (2013), o ciclo PDCA tem como objetivo agilizar e clarificar o processo de resolução de problemas das organizações. A sigla PDCA significa:

- **Plan (Planear)** – Deve-se estabelecer metas e identificar as causas que poderão impedir a concretização das mesmas, com o intuito de criar um plano de ação para a resolução de problemas.
- **Do (Fazer)** – Implementar o plano de ação definido através de um método científico.
- **Check (Verificar)** – Após a execução do plano estipulado, é necessário verificar os resultados obtidos e comparar com os resultados que seriam esperados.
- **Act** – Após a análise dos resultados obtidos, é necessário atuar sobre o plano executado, melhorando-o se necessário, ou promovendo uma melhoria dos processos. Caso o problema não tenha sido corrigido é importante perceber a condição atual em que se encontra e definir novas metas para a melhoria pretendida, recomeçando o ciclo na etapa de planeamento.

2.3.3.3 5'S

A denominação 5'S tem a sua origem em 5 (cinco) palavras de origem japonesa começadas por "S" que definem cinco etapas para cumprimento desta metodologia:

- **Seiri (Separar/Eliminar)** - Pretende-se perceber quais os materiais e ferramentas essenciais no posto de trabalho. Todo o conteúdo não essencial, deve ser descartado, podendo ser guardado (caso ainda tenha utilidade) ou até eliminado (Gomes, 2012);
- **Seiton (Ordenar/Arrumar)** - Organizar o posto de trabalho através da definição e identificação (visual) de locais específicos para cada utensílio e da sua colocação no respetivo sítio, eliminando movimentações desnecessárias (Gapp et al., 2008);
- **Seiso (Limpar)** - Nesta etapa, após a eliminação dos utensílios desnecessários e organização da sua distribuição, pretende-se manter as áreas de trabalho limpas, seguras e agradáveis (Faria, 2006). Com esta manutenção do espaço de trabalho prevê-se maior facilidade em detetar anomalias e incutir nos trabalhadores um acrescido sentido de responsabilidade e preocupação em preservar o equipamento que utilizam (Clegg et al., 2010);
- **Seiketsu (Estandardizar)** – Numa primeira instância, pressupõe que os primeiros 3S's se mantenham implementados. Seguidamente, o objetivo é criar procedimentos / padrões de forma a que todas as operações sejam realizadas sempre da mesma maneira (Costa et al., 2018);
- **Shitsuke (Respeitar/Rigor/Disciplinada)** – Manter as condições estáveis do local de trabalho através da disciplina e do rigor, assegurando assim a aplicação dos passos anteriores, numa lógica de melhoria contínua. Para tal, é necessário disciplina e motivação por parte dos colaboradores (Jiménez et al., 2015).

Segundo Bell e Orzen (2011) as empresas iniciam a implementação do *Lean* com a aplicação desta ferramenta, permitindo assim, consciencializar os colaboradores sobre o processo, permitindo identificar a origem do desperdício, bem como oportunidades de melhoria.

2.3.3.4 Gestão Visual

A gestão visual pode ser considerada um sistema de planeamento e controlo do sistema produtivo, e tem como objetivo tornar o posto de trabalho mais simples e intuitivo, reduzindo ou evitando eventuais desperdícios (Melton, 2005). Assim, toda a organização pode tomar conhecimento do desenrolar dos trabalhos, sem necessitar de questionar algum operador em específico (Cruz, 2013).

Outra característica deste sistema, é o fornecimento da informação acerca dos procedimentos de trabalho para a realização de tarefas, desde a ordem sequencial das tarefas até ao tipo de ferramentas utilizadas (Fujimoto, 1999).

Shingo (1985) defende que existem várias formas de gestão visual, isto é, várias maneiras de disponibilizar as informações, nomeadamente quadros sinalizadores de qualidade ou controlo de produção, folhas de trabalho padronizado, marcação física de áreas, *Andon* (sistema de luzes ou quadros informativos na parte superior dos equipamentos, que potenciam o controlo do processo), entre outros.

Os sistemas de controlo visual, que contenham alertas sonoros, são muito mais eficientes emitindo alertas para anomalias de produtos ou valores fora de margens, permitindo uma atuação rápida e a redução de mão-de-obra destacada apenas para controlo visual, sendo este tipo de combinação muito comum em equipamentos (Gonçalves, 2017).

2.3.3.5 *Standard Work*

De acordo com Liker & Meier (2007), o trabalho padronizado surge na Toyota através da adoção do *Training Industry Program* (TWI), onde Taiichi Ohno e os seus seguidores, foram mais longe ao implementar um fluxo contínuo, procurando reduzir os desperdícios das operações.

Neste sentido, o *Standard Work* pressupõe que todos os colaboradores façam as tarefas de igual modo, isto é, executando as tarefas seguindo os mesmos procedimentos. Esta ferramenta certifica que as tarefas são executadas num determinado período, independentemente do operador que está a efetuar o trabalho (Pinto, 2008).

Em suma, o *Standard Work* é uma ferramenta *Lean*, para garantir que as melhorias implementadas sejam sustentadas, definindo como é que as atividades serão realizadas (Silva & Ferreira, 2019), o que pressupõe que é o método mais seguro e eficiente para executar o trabalho, e que satisfaz o nível de qualidade exigido (Martin & Bell, 2016).

Segundo Martin & Bell (2016) existem quatro pré-requisitos para se atingir e manter o trabalho padronizado:

- i) colaboradores capazes de executar o trabalho;
- ii) sequência repetitiva do trabalho;
- iii) ferramentas, equipamento e espaço de trabalho fiáveis;
- iv) materiais utilizados de alta qualidade.

2.3.3.6 *Kanban*

Kanban é uma técnica de informação visual que possibilita a comunicação seja possível dentro de um sistema produtivo, tendo como principal objetivo, regular o fluxo de materiais por todo o circuito da empresa. (Salgado & Varela, 2010). Este conceito permite que o cliente e a sua necessidade na obtenção do produto, controlem o ritmo de produção do mesmo, tratando-se assim, de uma ferramenta do sistema pull, (Corona & Pani, 2013). Assim, através do sistema *kanban* é possível otimizar os níveis de inventário de acordo com a procura do produto, originando uma diminuição do lead

time na sua entrega e na eficiência dos recursos utilizados (Sundar et al., 2014; Dimitrescu, 2019), caracterizando-se como uma ótima forma para combater o desperdício na produção.

De acordo com Lee-Mortimer (2008) as principais vantagens do sistema *kanban* são:

- Maior visibilidade e controlo da produção, com recolha de dados para possíveis melhorias;
- Habilitar os trabalhadores para tomar decisões na produção;
- Melhor comunicação entre os postos de trabalho;
- Redução do lead time de produção, onde as entregas conseguem fazer-se com mais frequência, mesmo com quantidade mais pequenas;
- Redução do inventário e do desperdício, onde se produz apenas produto para satisfazer as necessidades do cliente;
- Resposta rápida às variações de procura do produto;
- Análise de dados de produção para identificar problemas de produção.

2.4 Manutenção

2.4.1 Conceito de manutenção

Partindo do pressuposto que uma instalação ou equipamento, tenha de apresentar um bom estado de utilização, assegurando, com eficiência e eficácia, a função para a qual foi criada, torna-se necessário que seja sujeita a vigilância periódica e reparações em caso de necessidade, incluindo também a limpeza constante. Todo este processo é denominado de Manutenção, que é definido, segundo a norma EN 13306:2017 como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão aplicadas durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida” (EN 13306:2010, 2010).

Assim, a manutenção pode ser entendida como responsável pela melhoria da disponibilidade e fiabilidade da instalação ou equipamento, com o intuito de maximização da disponibilidade, longevidade, produtividade, desempenho e conservação dos níveis de qualidade do trabalho prestado, mantendo as condições de segurança e o menor custo possível, reduzindo ou eliminando paragens da produção devido a possíveis avarias (Muchiri et al., 2011; Erkoyuncu et al., 2017). Assim, a manutenção assume um papel que permite as organizações atingirem os seus objetivos.

2.4.2 Tipos de manutenção

Iremos abordar os diferentes tipos de manutenção, de acordo com as normas EN 13306:2010, demonstrado na figura 17.

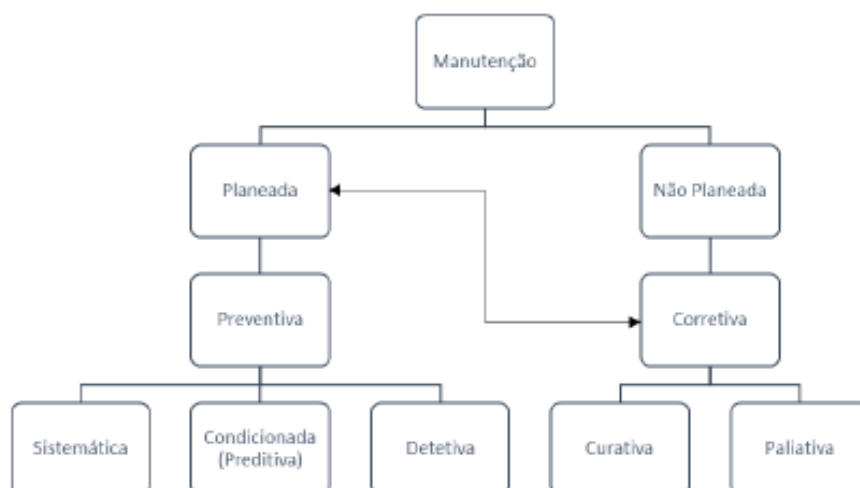


Figura 17 - Tipos de Manutenção (Amaral, 2016)

A Manutenção Planeada e Manutenção não Planeada, podem ser ambas entendidas como Manutenção Preventiva e Corretiva (Arslankaya & Atay, 2015).

2.4.2.1 Manutenção preventiva

Considera-se Manutenção Preventiva quando a mesma é regular e pré-determinada em intervalos de tempo definidos ou critérios estabelecidos com o propósito de minimizar ou eliminar o desgaste dos equipamentos e probabilidade de falhas, mantendo todo o sistema num nível satisfatório de funcionamento, permitindo que a competitividade não seja posta em causa (Chen & Trivedi, 2005).

A Manutenção Preventiva pode ser: i) Sistemática (realizada de acordo com intervalos de tempo pré-definidos), ii) Condicionada (realizada tendo em conta as tendências do comportamento do equipamento) ou iii) Detetiva (realizada tendo em conta variáveis de funcionamento que definem a performance do equipamento).

2.4.2.2 Manutenção corretiva

A Manutenção Corretiva é aquela que é realizada após a ocorrência de uma avaria, com o intuito de reparar o equipamento para retorno à atividade normal. Se esta intervenção for definitiva, designa-se por manutenção curativa (Guariente et al., 2017). Caso a ação seja de carácter temporário, denomina-se de manutenção paliativa.

2.4.3 RCM – Manutenção Centrada na Fiabilidade

A RCM tem como principal objetivo, preservar o bom funcionamento dos equipamentos principais de um sistema, com o menor custo possível. Esta metodologia consiste numa organização com base na decisão, com o intuito de identificar ações de manutenção e as suas periodicidades, a aplicar nos equipamentos ou semelhantes, mais importantes para a empresa, segundo uma base lógica específica (Amaral, 2016. Por outras palavras, a RCM identifica-se como um método de análise sistemático, permitindo planear a manutenção preventiva de um todo, baseando-se na deteção de modos de falhas dos equipamentos (e na gravidade das suas consequências), permitindo estabelecer prioridades, tendo sempre em consideração a segurança, fatores ambientais e os custos de manutenção (Rausand, 1998; Tang et al., 2017; Moubray, 1997).

2.4.3.1 Questões Básicas da RCM

A Metodologia RCM coloca sete questões, como guia de identificação das tarefas de manutenção e suas frequências nos equipamentos mais importantes de um todo (Ben-Daya et al., 2009):

- Quais as funções e desempenhos-padrão associados ao equipamento no seu contexto operacional?
- Em que condições pode o equipamento não satisfazer as funções requeridas?
- O que provoca cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- Qual a consequência de cada falha?
- O que pode ser feito de forma a prever e/ou evitar cada falha?
- O que pode ser feito caso nenhuma ação preventiva possa ser aplicada?

2.4.3.2 FMEA (Análise do Modo de Falha e Efeitos)

A FMEA é considerada uma ferramenta essencial da RCM, tendo como objetivo a resposta às primeiras cinco questões básicas. Esta ferramenta consiste numa análise sistemática de falhas possíveis, com o pressuposto de as evitar, considerando-se um processo preventivo, aplicado antes da implementação de alterações aos produtos ou procedimentos (Ben-Daya et al., 2009).

Segundo Ben-Daya et al. (2009), um processo FMEA típico corresponde a uma metodologia proactiva, seguindo os seguintes passos:

1. Seleção de um processo de alto risco;
2. Revisão do processo (este passo envolve a seleção de uma equipa multidisciplinar abrangendo várias áreas da organização com diferentes posições e responsabilidades dentro da mesma);
3. *Brainstorm* de potenciais modos de falha;

4. Identificação das causas raiz dos modos de falha;
5. Listagem de potenciais efeitos dos modos de falha;
6. Atribuição das classificações de severidade, falha e detecção;
7. Cálculo da *RPN*;
8. Priorização dos modos de falha através da *RPN*;
9. Definição de um plano de ações de forma a reduzir ou eliminar os valores obtidos de *RPN*;
10. Repetir o processo após terem sido aplicadas as medidas definidas no ponto anterior.

No capítulo 3 será executada uma análise FMEA a uma máquina.

2.4.3.3 Risk Priority Number (*RPN*)

Existem três fatores de classificação para a análise quantitativa do *FMEA*, que são classificados através de escalas pré-definidas: i) a severidade (consequências da ocorrência do modo de falha); ii) falha (probabilidade ou frequência da causa falha acontecer) e iii) detecção (probabilidade de detetar a causa da falha, antes das consequências de o efeito ser sentido).

Após a atribuição da escala a cada um dos fatores, são multiplicados, em igual proporção, resultando no número de prioridade de risco (*RPN*), variando entre 1 (considerado o menor risco possível) e 100 (considerado o risco mais elevado).

2.5 Indústria 4.0

A indústria 4.0 está associado a um processo evolutivo da história da indústria. Desde 1784 até meados do século 19, com a introdução da máquina a vapor, a mecanização da produção com energia gerada através da água e vapor, aumentou a capacidade de produção e produtividade, diminuindo o trabalho manual, dando-se a primeira revolução industrial.

Com Henry Ford, surgiu a segunda revolução industrial, com a introdução das linhas de montagem. Foi também nesta revolução que houve uma adaptação da eletrificação nas máquinas, substituindo as máquinas a vapor, que aumentaram significativamente a produtividade e a eficiência nas linhas de montagem, levando a uma produção em massa e ao aumento da automação (Bloem et al., 2014).

Desde 1970 até sensivelmente 2012, foi desencadeada a 3ª revolução industrial com a introdução do computador, promovendo a automatização da produção, substituindo gradualmente o trabalho manual de baixo valor, incrementando consideravelmente a produtividade das empresas.

Em 2012, o governo alemão decidiu formar um grupo de trabalho para projetar a estratégia para implementar a indústria 4.0 na Alemanha. Atualmente, esta indústria tem vindo a evoluir exponencialmente, tanto nos países da Europa como no resto do

mundo, levando estes a comprometerem-se com o estabelecimento de políticas que contribuam para apoiar a sua implementação (Menezes & Tocha, 2016; Fonseca, 2018). Segundo Ferreira (2016), existem algumas características principais deste tipo de indústria, como:

- i. Redes verticais de sistemas de produção inteligentes, tais como fábricas e produtos inteligentes e a criação de redes de logística, produção, marketing e serviços inteligentes, com uma forte orientação para o trabalho individualizado. Os materiais e produtos estão ligados em rede, pelo que podem ser localizados em tempo real. Todos os estágios de processamento no processo de produção são registados automaticamente. Assim as variações da qualidade ou avarias podem ser tratadas mais rapidamente. Estes processos também permitem uma maior monitorização do desgaste de materiais.
- ii. Haverá redes horizontais através de uma geração de redes globais de criação de valor, integrando os parceiros de negócio e clientes, gerando novos modelos de negócio e de cooperação entre os países e continentes. A conceção de um produto é registada e pode ser consultada a qualquer momento, criando a transparência nas cadeias de valor, melhorando as relações entre fornecedores e cliente.
- iii. Foco de engenharia ao longo de toda a cadeia de valor, não só no processo de produção, mas também no produto final. Como os dados e informações estão disponíveis em todas as fases do ciclo de vida do produto, gera-se novos e mais flexíveis processos, definidos a partir da prototipagem e modelação em diversos estágios. Um dos exemplos é o *“Digital Twin”*, ou seja, desenvolvimento em simultâneo de fabricação física e fabricação virtual/ linha de produção protótipo, otimizando processos e prevendo/ eliminando riscos nos processos de fabrico, visando a produção com nenhum defeito e a eficiência produtiva.
- iv. Aceleração de *“tecnologias exponenciais”*. Alguns exemplos destas tecnologias são a existência de robots em armazéns plenamente automatizados, a utilização de nano-materiais e nano- sensores, etc.

2.5.1 Vantagens da indústria 4.0 na Europa

É previsto que as organizações que implementarem a indústria 4.0, irão aumentar a sua posição competitiva no mercado, aumentando a sua cadeia de valor e diminuindo riscos. De acordo com Fonseca (2018) e o fórum *“Digital Transformation of European Industry and Enterprises”*, alguns dos benefícios da transformação digital na Europa (European Commition, 2015; Comissão europeia, 2017) são:

- i. Empresas que utilizam as novas tecnologias, as *“tecnologias exponenciais”*, vão ter um crescimento 10x superiores do que os seus concorrentes.
- ii. Com o Mercado único digital, pode gerar um aumento de 6% do PIB (Produto interno Bruto), criar mais de 3.8 milhões de empregos e reduzir os custos da

administração pública em 15 a 20%. Em nota informativa, o mercado único Digital foi criado para assegurar a igualdade de acesso a produtos e serviços, para proporcionar um ambiente ideal para ecossistemas em linha inovadora, dinâmicos e seguros na Europa e para garantir que todos os cidadãos, empresas e administrações públicas europeias possam confiar nos serviços em linha e beneficiar da revolução industrial.

- iii. Potencial criação de 1.5 milhões de novos empregos na União Europeia.
- iv. As empresas que usam tecnologias e serviços *Big Data*, podem tornar-se de 5 a 6% mais produtivas. Simplificando, a *Big Bata* refere-se ao armazenamento de uma grande quantidade de dados. Estes podem ser utilizados para variados fins e interpretados para perceber o Mercado, como se está a comportar e para que rumo segue.

2.5.2 Limitações da indústria 4.0

Segundo Mckinsey (2016), a pesar da indústria 4.0 ser o futuro, existe algumas limitações e preocupação relativa a esta revolução industrial (figura 18), como:

- i. Dificuldade de coordenar ações entre os diferentes departamentos numa empresa. A mentalidade presente em algumas empresas é a não partilha de informação entre os diferentes departamentos, como P&D (Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento), manufatura, vendas TI (tecnologia da Informação), finanças, etc. Este tipo de mentalidade reduz a eficiência da empresa e dificulta a coordenação estratégica e dos projetos da indústria 4.0 em toda a organização.
- ii. Falta de ousadia necessária para realizar o tipo de mudanças técnicas e organizacionais que a indústria 4.0 exige.
- iii. Falta de talento necessário para a implementação da indústria 4.0. Algumas empresas sentem que há falta no mercado de pessoas com o “talento” e conhecimento técnico específico para com funções-chave.
- iv. Preocupações com a “*cybersecurity*” ao trabalhar com os fornecedores, ou seja, estes não estão conectados com uma certa empresa que fornece determinados serviços, mas coopera para obter um lucro mútuo. A implementação de aplicativos da indústria 4.0, geralmente requer trabalhar com fornecedores de tecnologia/software e muitas vezes, as empresas hesitam em partilhar os seus dados devido à segurança. Atualmente, a segurança é uma questão sensível, e com o aumento de mecanismos interligados, o problema avoluma-se. Para além da segurança das comunicações, a criação de mecanismos de proteção contra os “*cyber-attacks*” é um desafio elevado.
- v. Falta de clarificação específica de negócios que justifiquem investimentos em estratégias tecnológicas.

Para as empresas que já se encontram mais avançadas na implementação da indústria 4.0, existem três barreiras adicionais (Mckinsey, 2016):

- vi. Preocupações sobre a propriedade dos seus dados ao trabalhar com os vários fornecedores. Para além da “*cybersecurity*”, os fabricantes estão também preocupados na possibilidade de perder o controlo dos seus dados, trabalhando com fornecedores de software e tecnologia.
- vii. Incerteza sobre quais as aplicações da indústria 4.0 que devem ser obtidas internamente e quais devem ser adquiridas a outros fornecedores, e quais os mais adequados.
- viii. A maioria das aplicações baseiam-se em dados de diversas fontes. Colocar estes dados interligados torna-se crucial para implementar a indústria 4.0.

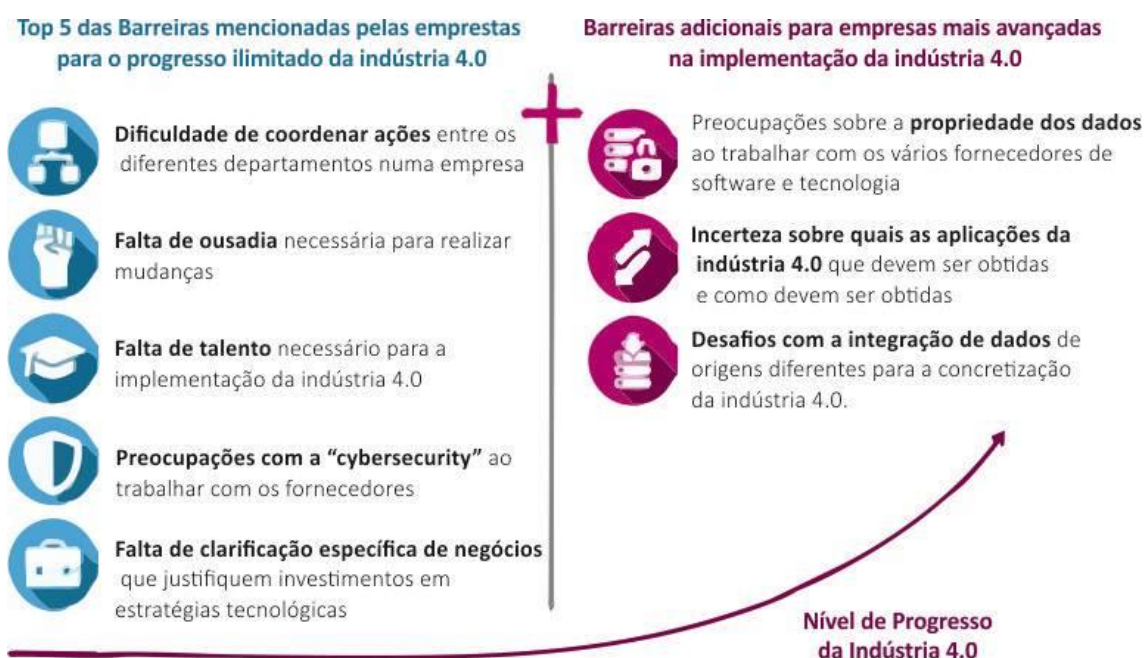


Figura 18 – Limitações da indústria 4.0 (adaptado de Mckinsey&Company, 2016)

3. ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

- 3.1 Análise e mapeamento dos processos em estudo
- 3.2 Identificação de problemas
- 3.3 Propostas de melhoria
- 3.4 Análise de Resultados

3 ANÁLISE E MELHORIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Durante a realização desta dissertação, foi analisado o cenário atual dos processos produtivos de vários sectores, nomeadamente o setor do projeto de moldes, planeamento e produção. Seguidamente foram identificadas possíveis melhorias nos respetivos setores. A SF Moldes S.A., tem um sistema produtivo semiautomático, pois recorre-se à mão de obra e máquinas.

3.1 Caracterização das instalações

Na figura 19, está representada a planta atual das instalações da empresa.

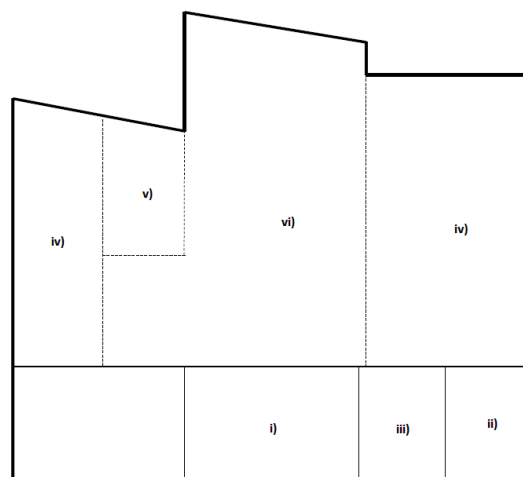


Figura 19 – Planta instalações

As instalações da SF MOLDES, S.A. estão divididas em vários departamentos e divisões/sessões de trabalho:

- i. **Departamento de Projeto de Molde** – departamento onde se realiza os estudos iniciais do molde, através da análise da peça cedida pelo cliente. É também neste departamento, onde é desenvolvido os projetos em CAD, em duas dimensões (2D) e com três dimensões (3D).
- ii. **Departamento Comercial** - departamento onde os moldes são monitorizados, desde a sua orçamentação até à sua conclusão, interagindo com o cliente durante todo o processo.

- iii. **Departamento de Planeamento e Produção** – departamento onde são projetados os programas para a maquinação CNC, e respetiva distribuição das peças a serem maquinadas.
- iv. **Divisão de Maquinação e Furação** – divisão equipada com centros de maquinação por CNC, onde são produzidas e maquinadas as zonas moldantes dos moldes, assim como a realização das peças necessárias para a construção do molde, com o recurso a fresagem e torneamento.
- v. **Secção de Eletroerosão** – divisão onde se executa trabalhos de acabamento por penetração.
- vi. **Secção da Bancada** – secção onde se realiza os trabalhos de ajuste e afinação do molde, como polimentos e pequenas correções. Após as correções executadas no molde, realiza-se o primeiro ensaio para a obtenção das primeiras peças. Uma vez ensaiado, verifica-se a qualidade da peça injetada, assim como o funcionamento do molde. Posteriormente, caso sejam necessárias, são definidas as correções para cumprir os requisitos do cliente. Depois das correções realizadas na secção da bancada, o molde é novamente ensaiado, sendo um processo iterativo, até se obter o produto final, de acordo com as especificações do cliente.
- vii. **Manutenção** – Departamento onde tem a responsabilidade de prestar um serviço à empresa de forma a esta atingir os seus objetivos, nomeadamente na maximização da disponibilidade, longevidade e desempenho de todos os equipamentos produtivos

3.2 Análise e Mapeamento do processo de produção

Este processo contempla desde a entrada da peça para elaboração do molde, no departamento comercial, até à sua expedição para o cliente.

3.2.1 Processo de negócio da atividade produtiva

Na figura 20, está representado um esquema de toda a atividade produtiva da empresa. É possível observar todos os processos desde o lançamento de uma proposta de uma peça plástica, passando pelo desenvolvimento de um molde, até à sua expedição.

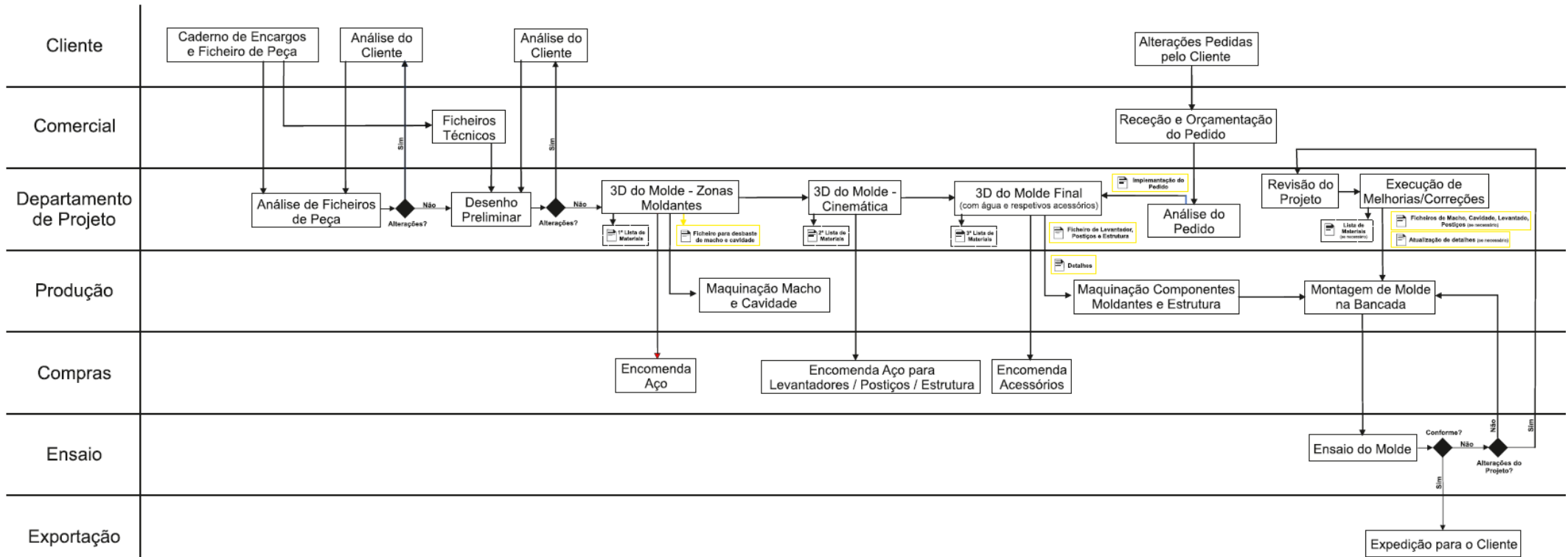


Figura 20 - Processo de negócio da atividade produtiva

3.3 Identificação de problemas

Como referido anteriormente, foi realizada uma avaliação de todo o processo produtivo, pelo que se verificou algumas falhas, que potencialmente podiam ser melhoradas. Na tabela 2, são apresentadas as falhas detetadas e problemas consequentes, inerentes a cada departamento da empresa.

Tabela 2 - Problemas dos processos em estudo

Setor	Descrição	Problemas
DPM	Modelação 3D	Inexistência de base de dados da biblioteca de <i>standards</i>
		Sobredimensionamento do molde
Produção	Bancada	Desorganização do espaço
	Eletoerosão	Ausência de documentação de apoio à produção
Manutenção	Máquinas	Inexistência de ferramentas de apoio à manutenção

3.3.1 Inexistência de base de dados da biblioteca de *standards*

Com a estandardização, existe um ganho de tempo significativo no desenho 3D do molde, eficiência e produtividade na produção, etc., levando a uma poupança em termos monetários e na redução da quantidade de erros (Rosa et al, 2017).

Citando Jorge Cardoso, diretor técnico da SF Moldes, em Freitas (2018), “a empresa SF Moldes, reconhecida mundialmente pela engenharia e fabrico de moldes de elevada qualidade para termoplásticos, tem vindo a definir, nos últimos anos, o standard da indústria ao mais alto nível.”

Na SF Moldes, a estandardização no projeto 3D, tem vindo a ser implementada ao longo do tempo, pelo que a empresa está muito avançada neste aspeto. No departamento de Projeto de Molde, quando se inicia um novo molde, já existe um *template* inicial, onde se pode selecionar o tipo de molde, estando assim estandardizado, para que o projetista não desperdice tempo a desenhar peças, que são iguais de molde para molde.

Existe também um conjunto de standards da Schneider Form, que foram devidamente convertidos para CAD, estando também estes estandardizados.

Para além destas standardizações supramencionadas, a SF Moldes executa também peças de fornecedores que sejam utilizadas com grande frequência, como os olhais, guias, casquilhos, etc., com o mesmo intuito das peças acima descritas.

Com uma base de dados 3D tão diversificada e com alguma extensão, por vezes é difícil um projetista saber o que já existe modelado. Assim, torna-se pertinente criar uma biblioteca digital dos componentes já normalizados, aliada a instruções para a sua utilização.

3.3.2 Sobredimensionamento do molde

Geralmente, o custo do projeto no valor total de produção de um produto é de 5%. Contudo, exerce uma influência de 70% sobre o custo total de produção (Blanchard & Fabrycky, 1990).

É durante a execução do projeto de um molde, que as decisões são tomadas, logo estas vão influenciar a escolha dos processos a utilizar. Neste sentido, um projeto mal concebido, pode dificultar a construção do molde, ou despende muitos recursos financeiros adicionais (Neto, 2001).

O dimensionamento de um molde de injeção, tem uma abordagem prática, principalmente no dimensionamento do macho e cavidade. Neste momento, na SF Moldes, o projetista utiliza a sua experiência para dimensionar os componentes supramencionado. No geral, para o molde ser robusto e atender às solicitações mecânicas a que vai estar submetido, aquando da injeção da peça, este é sobredimensionado, o que implica custos desnecessários.

Não obstante, é necessário criar uma ferramenta que auxilie este processo.

3.3.3 Desorganização do espaço

Atualmente, com o aumento da competitividade e das expectativas dos consumidores, há uma necessidade de as empresas aumentarem a qualidade dos seus produtos, diminuírem o tempo de entrega, entre outros fatores. Contudo, para tal acontecer, tem de ser melhorada a arrumação dos espaços, limpeza, normalização, etc. Estes aspetos podem ser melhorados na bancada, local, onde os moldes são montados, pois, por exemplo, existem objetos desnecessários e desarrumados, o que conduzem a uma área sobrecarregada e condicionam a sua potencialidade. Neste departamento, também é visível a necessidade de restaurar alguns equipamentos, desde cavaletes, a mesas de apoio com um grau de desgaste elevado. O piso irregular em algumas zonas, assim como

a sua delimitação de zonas de passagem desgastas, também carecem de atenção. Esta área pode também ser considerada uma área descuidada e sem normalização, por estar confusa, aos olhos dos clientes e auditores, o que leva a SF Moldes a querer seguir uma cultura *Lean*, de forma a solucionar este problema.

3.3.4 Ausência de documentação de apoio à produção

A comunicação entre setores é um fator importante, de forma a saber o objetivo e a meta a atingir. Deste modo, é necessário que todos os colaboradores saibam o que devem realizar, assim como o que é mais prioritário, bem como o responsável do projeto e respetivo projetista. Neste sentido, é necessário criar um conjunto de ferramentas que seja fácil compreensão e de fácil acesso, de forma a eliminar os fatores supramencionados, erros produtivos e paragens de produção, devido à falta de informação e comunicação entre setores.

3.3.5 Incorreta quantidade de grafite a encomendar

A gestão de *stocks* é um aspeto fundamental para gerir uma empresa de forma eficiente. Saber quando e a qual a quantidade de produtos a encomendar, assim como conhecer a quantidade exata de produtos existentes, ajuda a simplificar tarefas e a evitar problemas, como o excesso ou falta de *stock*. Por esta razão, existe uma necessidade de elaborar uma ferramenta simples, mas eficaz, de forma a solucionar o problema de encomendas incorretas relativamente às quantidades de grafite, pois sabe-se de forma exata e standard, as encomendas de inventário.

3.3.6 Inexistência de ferramentas de apoio à manutenção

Neste momento, os responsáveis pela manutenção da empresa SF moldes, têm planos de ações preventivas direcionadas para algumas máquinas. No entanto, seria essencial criar mais metodologias de forma a mitigar todas as avarias e paragens da grande parte dos equipamentos.

Segundo a norma europeia EN 13306:2010, a “manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão aplicadas durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida”. (EN 13306:2010, 2010). Neste sentido, seria necessário criar uma ferramenta que maximizasse a disponibilidade, o desempenho e a longevidade dos equipamentos, reduzindo as paragens de produção por avarias, bem como assegurar os níveis de qualidade do trabalho prestado pelos mesmos (Muchiri et al., 2011).

3.4 Propostas de melhoria

Finda a análise dos processos da empresa, e constatado todos os problemas supramencionados, seguidamente são descritas detalhadamente, as propostas e implementações adotadas.

Na tabela 3, é apresentado um quadro resumo das propostas de melhoria.

Tabela 3 - Propostas de melhoria

Setor	Problema	Proposta de Melhoria
DPM	Inexistência de base de dados da biblioteca de <i>standards</i>	Criação de base de dados
	Sobredimensionamento do molde	Aplicação do Método de Elementos Finitos
Produção	Desorganização do espaço	Aplicação da ferramenta 5S
	Ausência de documentação de apoio à produção	Elaboração de documentos de apoio
	Incorreta quantidade de grafite a encomendar	Regulação através de <i>kanbans</i> no <i>stock</i> de grafite
Manutenção	Inexistência de ferramentas de apoio à manutenção	Fase de implementação RCM (FMEA)

3.4.1 Criação de base de dados

Como já foi referido, a SF Moldes tem uma base de dados 3D diversificada e com alguma extensão e, por vezes, é difícil o projetista saber o que se já existe modelado. Neste sentido, foi criada uma biblioteca digital dos componentes já normalizados, assim como uma explicação para a sua utilização.

Numa primeira fase, foi realizado um levantamento de todos os *standards* realizados até ao momento na empresa. Deste modo, foi notado que seria necessário fazer uma separação entre os vários elementos normalizados: “Standards”, “No Standars” e “Suppliers”. Relativamente aos “Standards”, estes são considerados os componentes que foram modelados de acordo com os desenhos 2D, vindos do *know-how* que a Schneider Form tem vindo a adquirir ao longo dos anos. Os “No Standars”, são os componentes que foram criados para suprimir lacunas que advinham dos anteriores. Por último, os “Suppliers” são peças modeladas de clientes. Salienta-se que todos os componentes modelados servem para minimizar o tempo de colocação deste, no desenho de um molde.

É possível visualizar na figura 21, a página inicial da biblioteca criada.



Figura 21 - Página inicial

A título de exemplo, no caso de um projetista querer uma peça, que seja comprada, acede ao menu “Suppliers” e de seguida escolhe o cliente que pretende (figura 22).

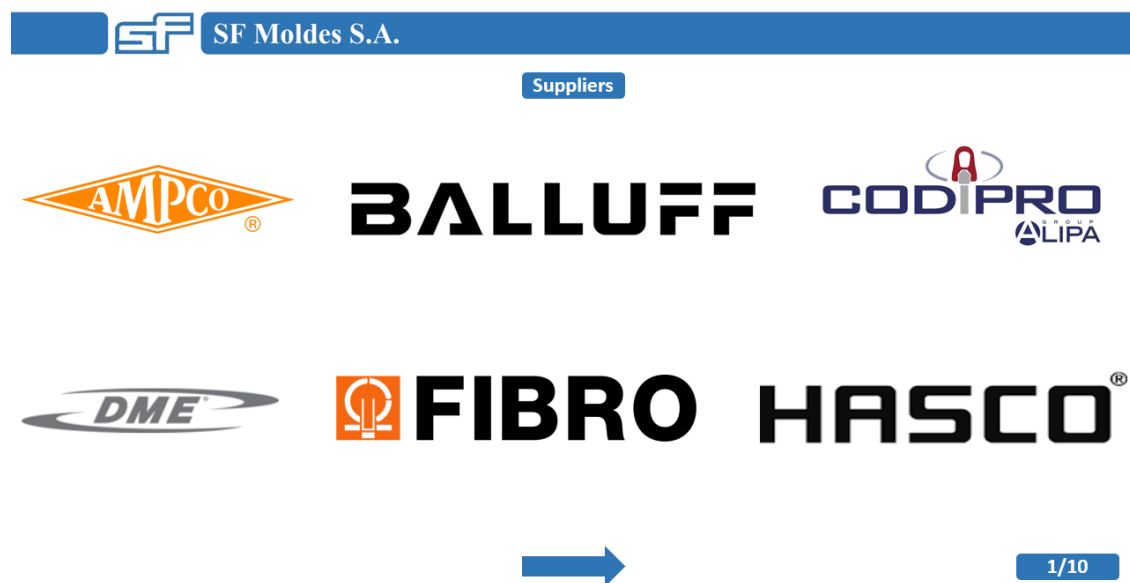


Figura 22 - Página "Suppliers"

Supondo que o cliente pretendido é a “Fibro”, é possível visualizar tudo o que foi modelado até ao momento (figura 23). Caso se pretenda escolher um extrator, surge uma explicação de como este componente normalizado pode ser inserido no molde, de forma simples e eficaz.

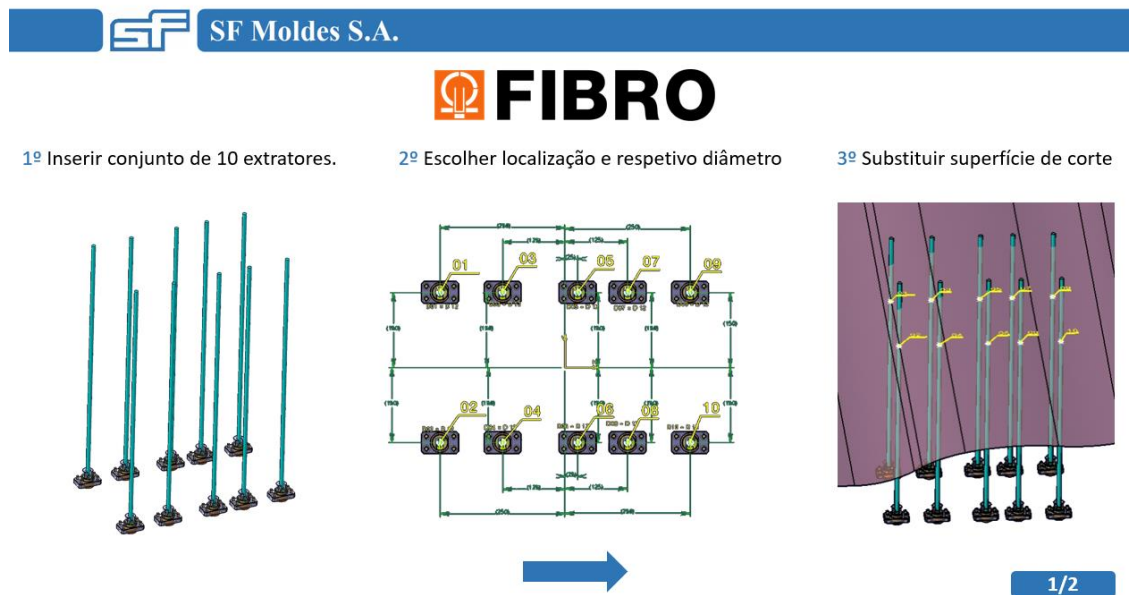


Figura 23 - Extratores Fibro

Apesar de ser uma ferramenta simples, é muito eficaz, devido à supressão de tempo do projetista a modelar peças que se encontram já prontas a ser utilizadas.

Devido a termos de confidencialidade, não é permitido disponibilizar toda a biblioteca executada.

3.4.2 Aplicação do Método de Elementos Finitos

Para a obtenção de uma peça injetada, para além de vários fatores, é necessário a existência de um molde bem projetado. Para tal, é possível recorrer a diversas ferramentas que auxiliam os projetistas nessa tarefa, de modo a avaliar a influência das tipologias internas no comportamento mecânico ou térmico de um componente quando solicitado externamente (Pereira, 2017). Neste sentido, de forma a diminuir o sobredimensionamento do macho e cavidade, recorreu-se ao CATIA V5 (software utilizado atualmente na SF Moldes), para executar o método de elementos finitos (MEF).

Para contextualizar, quando se aplica o MEF, a geometria submetida aos carregamentos e restrições é subdividida em pequenas partes, denominadas de elementos, os quais passam a representar o domínio contínuo do problema. A divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples, o que possibilita ao computador realizar estas tarefas com eficiência. O MEF substitui o número infinito de variáveis desconhecidas, por um número limitado de elementos definidos. Estas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, sendo que o tamanho e número destes, pode ser ajustado consoante a complexidade, dimensão e precisão do objeto a testar. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles numa determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise.

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, denominados de nós. Ao conjunto de todos esses itens, de elementos e nós, dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem os comportamentos físicos, não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico (Lotti et al., 2006).

3.4.2.1 Funcionalidades CATIA V5 para o MEF

Inicialmente, para ter a percepção das funcionalidades do CATIA V5 para o MEF, foi estudado as ferramentas a utilizar, através de um manual da *Dassault Systemes* (2008). Apesar de ter sido um processo demorado, foi fundamental para obter as bases do *software*, onde as ferramentas mais usuais para a execução do MEF, para o caso de um molde de injeção de plástico, são:

➤ Barra *Connection Properties* (figura 24)

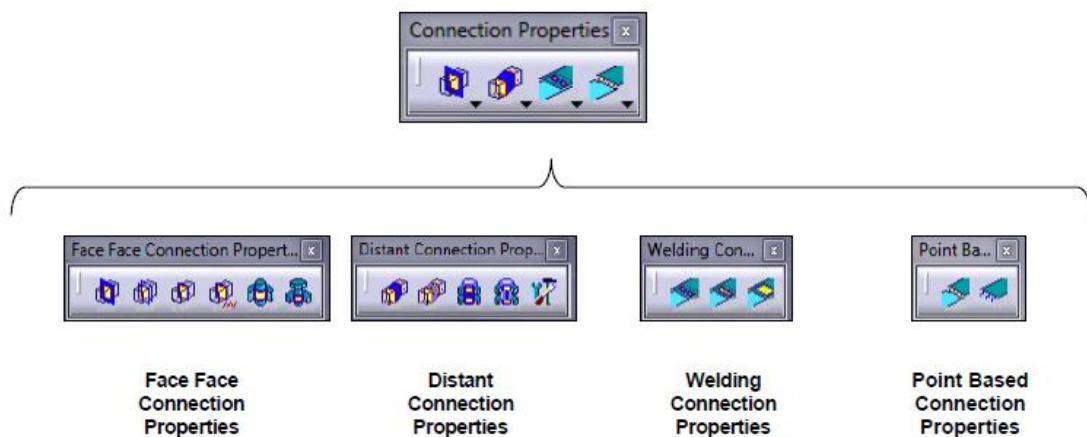



Figura 24 - Barra *Connection Properties* (Delgado, 2015)

-  **Slider Connection Property** – Função que permite o deslizamento na direção tangencial da superfície selecionada. Assim, o movimento da direção perpendicular fica reduzido.

➤ **Barra *Analysis Supports* (figura 25)**

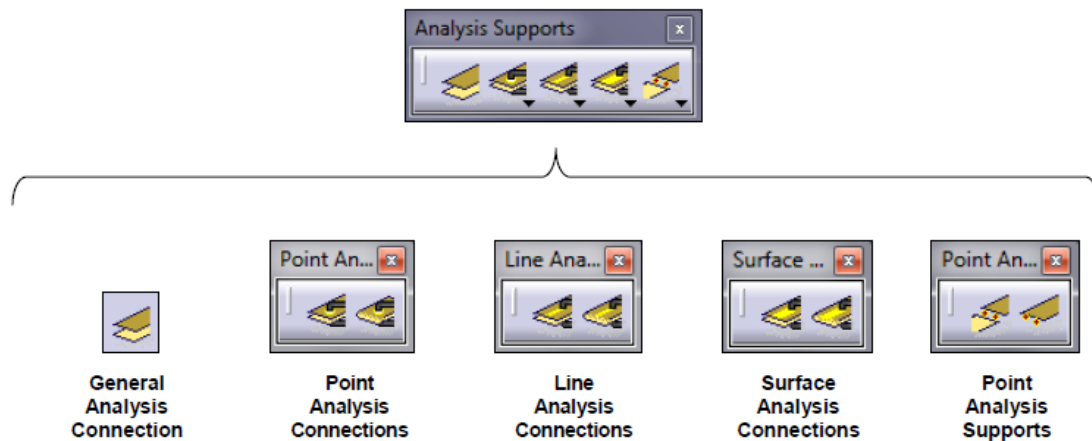



Figura 25 - Barra *Analysis Supports* (Delgado, 2015)

-  **General *Analysis Connection***- Serve para criar uma conexão entre duas ou mais partes de um conjunto (*assembly*). Esta pode ser entre qualquer tipo de geometria, como arestas, vértices, superfícies, etc.

➤ **Barra *Restrains* (figura 26)**

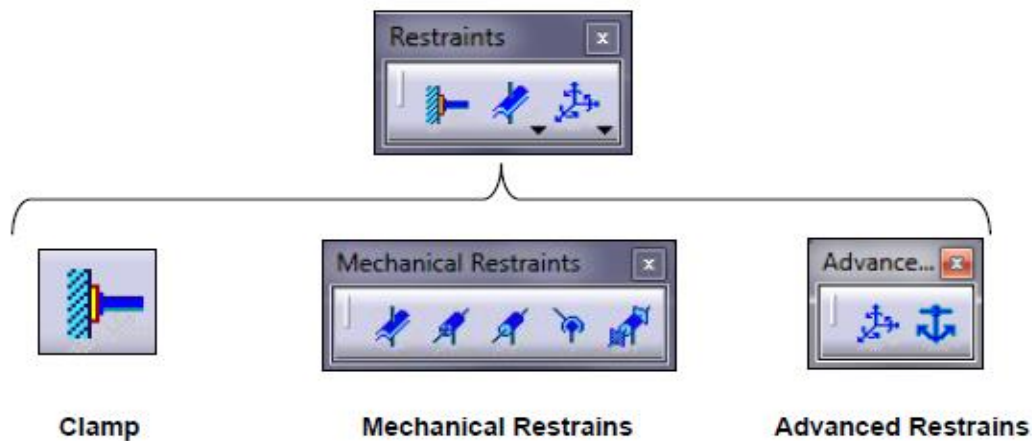




Figura 26 - Barra *Restrains* (Delgado, 2015)

-  **Clamp** - Função que impede a translação nos três eixos e movimentos à torção.
-  **Surface *Slider*** – Função que permite o deslizamento da face em que a função foi aplicada. Impede o movimento no sentido perpendicular à superfície.

➤ **Barra Loads (figura 27)**

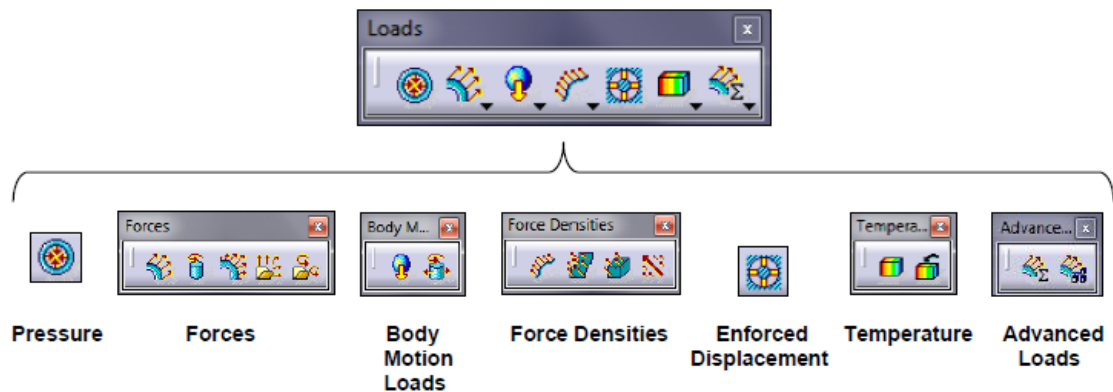




Figura 27 - Barra Loads (Delgado, 2015)

-  **Pressure**- Função que aplica um campo de pressão escalar uniforme na superfície da peça selecionada. Este campo escalar é caracterizado pelo facto de que, em qualquer ponto da superfície, a pressão é sempre perpendicular a este.
-  **Distribue Force**- Função que aplica uma força uniformemente distribuída na superfície ou aresta selecionada. Podemos introduzir os componentes X, Y e Z da respetiva força a aplicar.

➤ **Barra Compute (figura 28)**

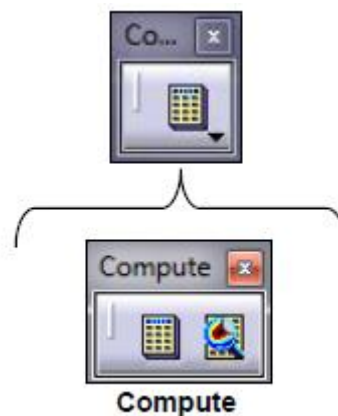



Figura 28 - Barra Compute (Delgado, 2015)

-  **Compute** – Função que executa a análise do sistema de cálculo através de MEF.

➤ **Barra Image (figura 29)**

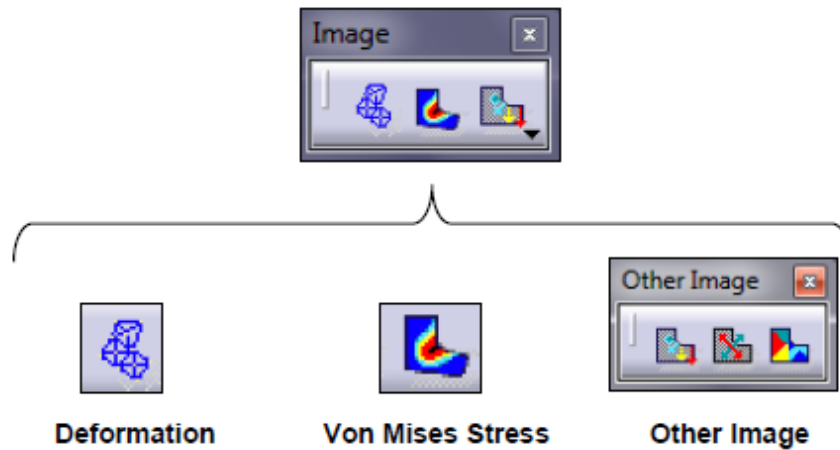





Figura 29 - Barra Image (Delgado, 2015)

-  **Deformation** – Função que mostra os resultados da análise com a peça ou conjunto deformado devido às forças ou cargas que o corpo está sujeito.
-  **Von Mises Stress** – Função que representa um campo escalar obtido através da densidade de energia de distorção de volume e é usado para medir o estado de tensão da peça. Geralmente é comparado com o valor do limite elástico do material, de modo que o valor máximo de Von Mises Stress deve ser menor que o limite elástico do material.
-  **Displacement** – Função que é usada para visualizar o campo de vetores de deslocamento. Cada vetor representa a direção do deslocamento produzido e o módulo de deformação numa escala de cores de cada nó.

➤ **Barra Model Manager (figura 30)**

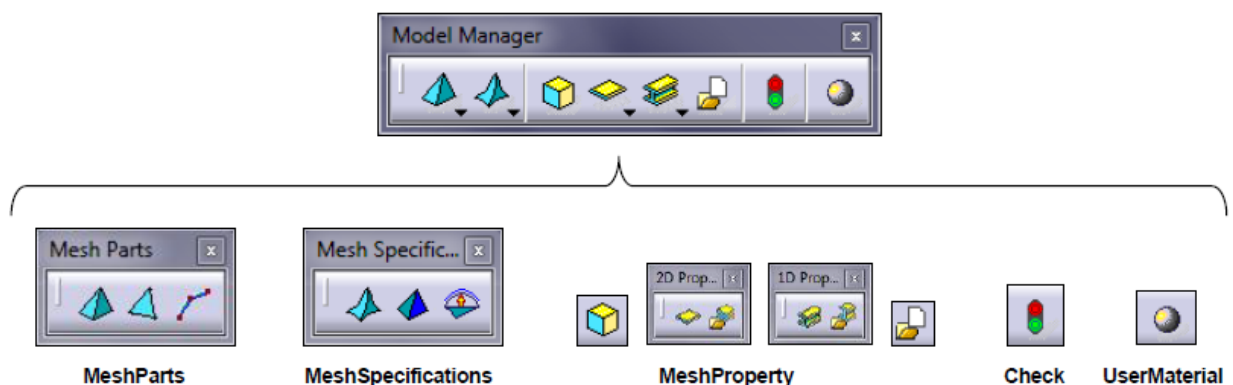




Figura 30 - Barra Model Manager (Delgado, 2015)

-  **Octree Tetrahedron Mesher** - Função permite mudar o tamanho da malha. Quanto menor for o tamanho da malha, mais preciso vai ser o resultado.
-  **Local Mesh Size** – Função que permite modificar o tamanho da malha em locais complexos, como superfícies curvas, onde a malha deve ser menor.

Após terem sido estudadas estas e outras funções do *Generative Structural Analysis*, referentes ao estudo do MEF, foi aplicado vários exemplos práticos simples. Apresentamos como exemplo, este primeiro estudo, que consistiu em aplicar restrições a uma peça simples como a **Surface Slider** e uma **Distributed Force**, (Figura 31).

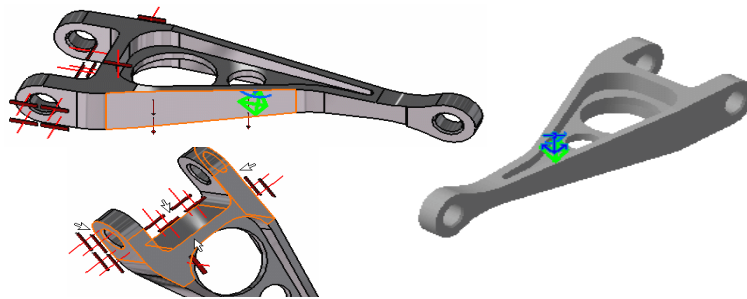


Figura 31 - Aplicações de restrições numa peça

Depois de executada a análise do sistema de cálculo através de MEF, já é possível visualizar os resultados da análise, com a peça ou conjunto deformado devido às forças ou cargas a que o corpo está sujeito, através da função **Deformation**. Nesta função também é visível o tamanho da malha (figura 32).

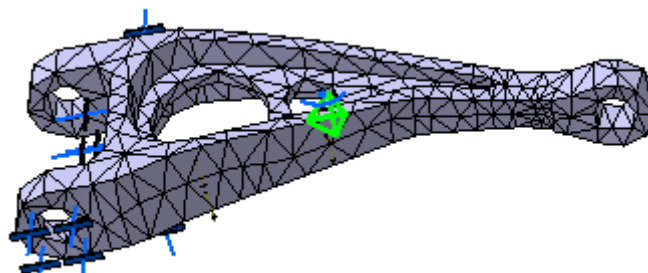


Figura 32- Função *Deformation*

É também possível saber, com a função **Von Mises Stress**, o campo escalar obtido através da densidade de energia de distorção de volume e o estado de tensão da peça. Como podemos analisar na figura 33, a deformação máxima é de $2.8E7 \text{ N/m}^2$ (Pa). No caso de saber qual a tensão máxima de cedência do material, era possível conhecer, para esta carga, se o objeto se deformou plasticamente, ou não. Para a estrutura se

deformar plasticamente, era necessário que esta ultrapassasse a tensão máxima de cedência.

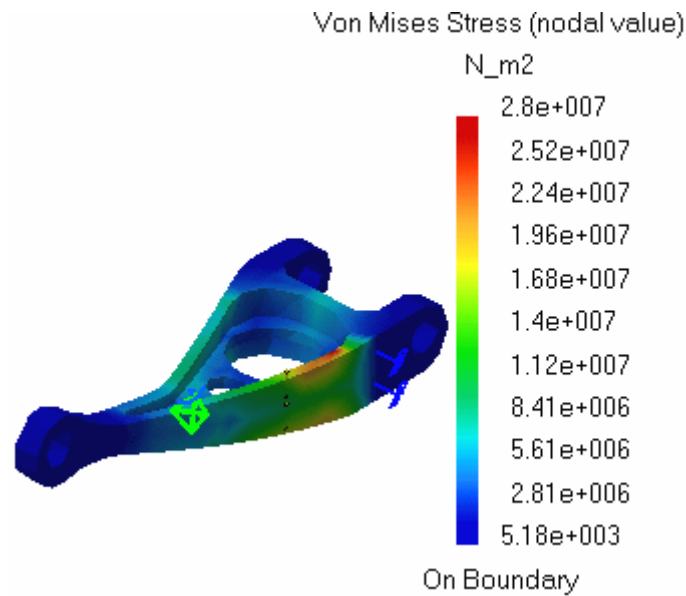


Figura 33- Von Mises Stress

Por último, através do **Displacement**, é possível visualizar o campo de vetores de deslocamento, em que cada vetor representa a direção do deslocamento produzido, e o módulo de deformação numa escala de cores de cada nó. Este é um método de dimensionamento à rigidez, onde se pode observar que a deformação máxima para esta carga foi de 0.00398 mm (figura 34).

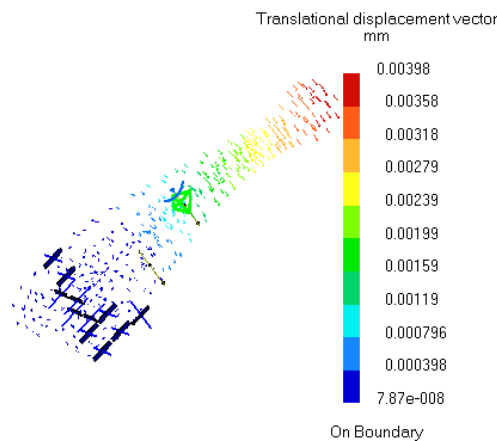


Figura 34- Displacement

3.4.2.2 *Análise estrutural a um molde*

Após a conclusão desta pesquisa inicial, foi possível realizar uma análise a uma exemplificação simplificada de um molde de injeção. Para esta simplificação, foram retirados os olhais, extratores, barras de pressão e de ajuste, fichas elétricas, racores de águas e óleos, entre outros acessórios, pois não são necessários para a análise do MEF e tornariam o cálculo mais demorado. Com o mesmo objetivo, foram realizadas simplificações para a redução do detalhe construtivo da ferramenta *moldeante*, como retirar nervuras negativas (correspondentes a nervuras da peça moldada) sem efeito significativo a nível da rigidez local do molde, simplificação de superfícies fracionadas, entre outras correções, com vista à melhoria da descrição geométrica de ambas as partes do molde, sem contudo comprometer significativamente a validade dos resultados, mas garantindo a geração de malhas mais uniformes e melhorando a regularidade dos elementos.

- **Condições de trabalho**

Embora uma ferramenta de injeção esteja sujeita a um conjunto de cargas, que variam ciclicamente ao longo do processo de injeção, é considerado neste estudo que o molde está sujeito a uma carga permanente, quer seja devido à força de fecho ou à pressão que atua na impressão do molde. Assume-se igualmente um regime linear elástico e modelos constitutivos isotrópicos na descrição do material, que constitui os diferentes componentes da ferramenta de moldação.

As propriedades aplicadas nos dois componentes, macho e cavidade, estão resumidos na tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades

Módulo de Elasticidade [GPa]	210
Tensão Limite de Elasticidade [MPa]	1280
Tensão de Rotura [MPa]	1420
Tensão Limite de Fadiga [MPa]	760
Condutividade Térmica [W/m°C]	25@20°C
Dureza [HRC]	45HRC
Coefficiente de Dilatação Térmica [10⁻⁶m/mK]	12.6 @ [20-400]°C
Massa Volúmica [kg/m³]	7800
Módulo de Elasticidade [GPa]	210

- **Resultados**

A este nível, no macho verificou-se que o valor mais alto de deslocamento deu-se na superfície que se encontra em contacto com os calços, apresentado um valor de deslocamento máximo de 58 μm na sua parte inferior. A zona moldante apresentou também a mesma magnitude de deslocamentos, verificando-se uma diminuição radial do centro (valor máximo de 58 μm) para a periferia.

No que diz respeito á tensão de Von Mises, no macho desenvolvem-se tensões máximas de 186 MPa na zona cimeira da depressão próxima da zona moldante, sendo que apresentou um maior gradiente na direção longitudinal do que na direção transversal do molde. O componente onde se desenvolveram as tensões mais importantes foram os calços, chegando a atingir valores máximos de 232 MPa (figura 35).

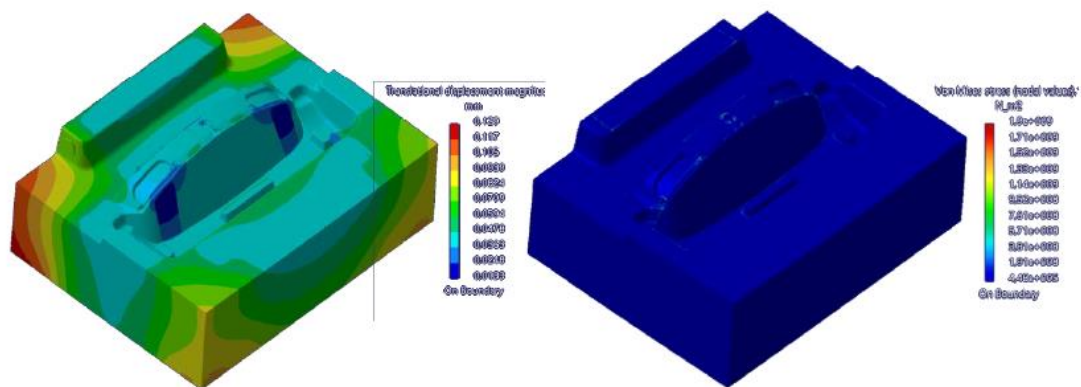


Figura 35 - Dimensionamento à rigidez e flexão no macho

No que diz respeito à cavidade, verificou-se que o deslocamento apresentou um valor máximo de 37 μm e ocorreu nos pontos de contacto inferiores mais elevados. De igual modo, a zona de moldação apresentou deslocamentos elevados na sua zona central. Relativamente à placa de apoio da cavidade, verificou-se que o deslocamento máximo se localizou na sua zona inferior, com uma magnitude de 0,012 μm , e, na placa traseira da cavidade, o deslocamento apresentou-se sensivelmente uniforme em toda a peça, sendo este na ordem dos 4 μm .

Relativamente à tensão de Von Mises, constatou-se que o valor máximo deu-se na cavidade, sendo no detalhe inferior arredondado da zona moldante que se apresenta um valor de 240 MPa. No entanto, o valor médio das tensões equivalentes nessa zona é de 165 MPa (figura 36).

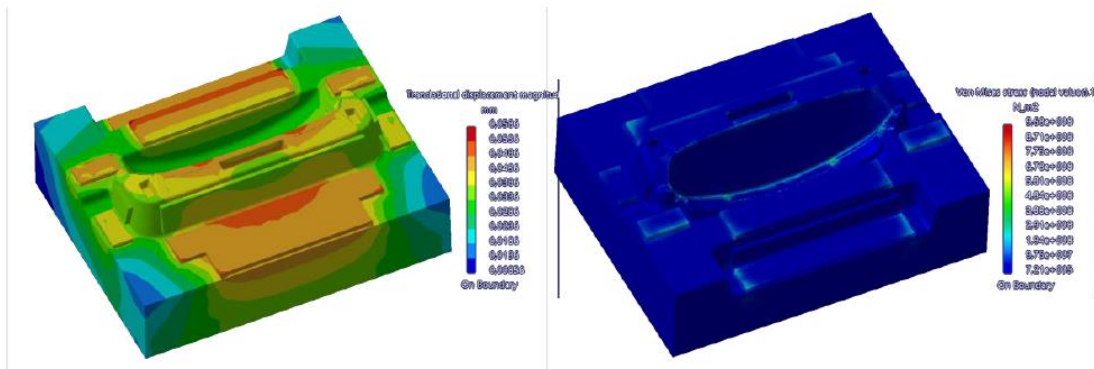


Figura 36 - Dimensionamento à rigidez e flexão na cavidade

A deformação do molde na zona moldante, tanto no macho, como na cavidade, apresentou-se pouco significativa. Neste sentido, foram executadas algumas alterações ao molde, como por exemplo, diminuição da largura do molde, a diminuição do travamento, entre outros, o que no final representou menos 5% de volume de aço total.

Seguidamente, foi executado um novo estudo e verificou-se que o molde ainda se encontrava dentro das especificações desejadas.

Como foi comprovado, com o MEF, haveria uma poupança de 5% de aço, o que conduzia a uma diminuição dos custos totais do molde, garantindo igualmente que este suportava todos os esforços levados no seu tempo de vida.

3.4.3 Aplicação da ferramenta 5S

Na secção da bancada, foi levado a cabo a implementação de metodologias 5S.

Nesta secção, existe por vezes, alguma desarrumação desnecessária. Um dos exemplos é a quantidade de peças injetadas que não são necessárias, pois muitas vezes, o molde já se encontra no terceiro ensaio e ainda existem várias peças do primeiro, pelo que estas apenas estão a ocupar espaço útil. No sentido de libertar as bancadas, estas peças foram encaminhadas para o devido contentor para posteriormente serem recicladas. Nesta fase inicial do processo de triagem, foi estabelecido quais os materiais e ferramentas necessárias para uso diário e frequente. Seguidamente, foi realizado um inventário de todo o material que se encontrava danificado e a necessitar de manutenção/remodelação.

Seguidamente procedeu-se à arrumação de todo o espaço. De forma a potenciar essa arrumação, era imperativo a existência de mais estantes para guardar os componentes quando os moldes estão a ser desmontados, como por exemplo, os levantadores. Quando estes são desmontados, são “guardados” em cima de paletes, no chão da

bancada, ocupando muito espaço útil. Neste caso, a existência de estantes seria imprescindível para alocar estes componentes.

De forma a facilitar a utilização de instrumentos de trabalho e diminuir a deslocação do colaborador, procedeu-se à inventariação das ferramentas utilizadas em cada bancada e seguidamente delineou-se um armário e respetiva gaveta, para cada conjunto de utensílios. A organização lógica de cada jogo de chaves e ferramentas ficou a cargo de cada responsável de bancada, pois surgiu divergências relativas à localização e importância das ferramentas nos diversos grupos de bancadas existentes na SF Moldes.

Em terceiro lugar foi executada uma limpeza geral. As bancadas deveriam ser limpas mais regularmente, devido ao pó que é formado ao polir o molde. Este pó acumula-se no chão e quando é utilizado o ar comprimido, forma-se uma pequena nuvem, que pode ser prejudicial à saúde dos trabalhadores, a longo prazo. O corredor que atravessa a zona das bancadas, também deveriam ser limpos com mais regularidade, pois é comum a existência de óleos no chão.

Foi também realizada uma limpeza à volta da prensa, especialmente na parte de trás, devido à grande acumulação de óleos, poeiras (figura 37). Esta acumulação existe por ser uma parte de mais difícil acesso para limpeza frequente. Neste sentido, foi criado um **mapa de limpeza**, onde está determinado o dia e o local a ser limpo e qual o colaborador responsável pela limpeza.



Figura 37 - Antes e depois da limpeza à volta da prensa

De forma a facilitar a limpeza foi sugerida duas melhorias: i) na retificadora plana, deveria de existir um local, ao lado desta, onde se pudesse “soprar” as peças, e que fosse uma zona impermeável para facilitar a limpeza e ii) apesar do sistema de ventilação ser bom, deveria existir um local apropriado para limpar o molde, como uma cabine de limpeza. Esta tinha benefícios para o colaborador, pois impedia que este estivesse em contato com produtos químicos, e benefícios ambientais, onde na existência de um dreno, seria evitado eventuais derrames de produtos químicos para o solo.

Com todos os componentes limpos e organizados procedeu-se à restauração de alguns componentes danificados ou que necessitavam de alguma reparação, nomeadamente i) os cavaletes, visto que são componentes que suportam várias toneladas ii) mesas de trabalho, onde era necessário substituir várias tábuas e pintar e iii) suportes metálicos (figura 38).



Figura 38 - Restauração dos suportes metálicos

Os dois últimos “S” desta metodologia – *Seiketsu* e *Shitsuke* - visam definir normas visuais e disciplinares, respetivamente, para assegurar a manutenção dos 3S’s anteriores. Todos os colaboradores devem assegurar o cumprimento das normas, para que estes conheçam a importância do seu papel, assim como desempenhar de forma correta e normalizada, a instalação uma cultura *Lean*. Neste sentido, foi sugerido uma reunião semanal, a ocorrer durante as segundas-feiras, com o responsável de todas as bancadas e um membro de cada grupo de bancada. Nesta reunião, realiza-se uma auditoria a cada bancada, de forma a garantir que todas as normas estão a ser implementadas e, se necessário, estabelecer planos de ações de melhoria de processos. A auditoria conta com uma *checklist* desenvolvida para o efeito (figura 39).

SF		SF Moldes S.A.	
Bancada nº	_____		
Nº Auditoria	_____		
Auditado por	_____	AUDITORIA 5S - Bancadas	
Data	_____		

5S	Nº	Item a Verificar	Critério de Avaliação	OK	NOT OK	Comentários
Triagem	1	Equipamentos, ferramentas e auxiliares	Todos equipamentos e ferramentas estão a ser usados e são necessários?			
	2	Materiais	Não há stock de materiais desnecessários ou a devolver ao armazém que não está a ser utilizado?			
	3	Bancadas	As bancadas de trabalho têm apenas materiais e documentos atualizados?			
	4	Materiais, produto não conforme, stock intermédio	Os materiais em reparação, a aguardar material e consumíveis estão separados e identificados?			
Organização	5	Acessos	Os acessos a equipamento, bancadas estão desimpedidos?			
	6	Armários e gavetas	Estão limpos e organizados?			
	7	Stock de materiais	Todos os materiais têm local definido e estão identificados?			
Limpeza	8	Geral	A Arrumação faz parte das tarefas diárias?			
	9	Pisos e envolventes	Estão limpos e em bom estado de conservação?			
	10	Máquinas e equipamentos	Estão limpos e em bom estado de conservação?			
	12	Máquinas e equipamentos	Os utensílios de trabalho de utilização não-permanente, estão limpos?			
Normalização	14	Meios de limpeza	Existem utensílios de limpeza e estão em bom estado e arrumados?			
	15	Máquinas e equipamentos	Estão definidos planos de limpeza para todos as máquinas e equipamentos? Estão actualizados e são cumpridos?			
	16	Layout	Planos de limpeza estão disponíveis e acessíveis?			
	17	EPI's	O equipamento de proteção é utilizado e os meios de segurança são respeitados?			
	18	Geral	Planos de trabalho estão acessíveis e atualizados?			
	Disciplina	19	Formação	Todos os colaboradores têm formação em 5S? Conhecem os fundamentos e os seus objectivos?		
20		Quadro PMS/5S	Os relatórios das auditorias 5S e as listas de ações estão disponíveis e atualizados?			
21		Auditoria 5S's	As ações definidas estão a ser cumpridas? Há melhoria evidente dos resultados das auditorias 5S's?			
22		Auditoria 5S's	Houve evolução ou correções desde a última auditoria?			

Resultado da bancada [] %

Figura 39 - Auditoria 5S

Foi realizada uma primeira auditoria 5S à bancada 1, como ponto de referência, resultando uma pontuação de 35% (figura 40).

SF		SF Moldes S.A.	
Bancada nº	Bancada nº1		
Nº Auditoria	1		
Auditado por	André Costa	AUDITORIA 5S - Bancadas	
Data	03/04/2020		

5S	Nº	Item a Verificar	Critério de Avaliação	OK	NOT OK	Comentários
Triagem	1	Equipamentos, ferramentas e auxiliares	Todos equipamentos e ferramentas estão a ser usados e são necessários?	x		
	2	Materiais	Não há stock de materiais desnecessários ou a devolver ao armazém que não está a ser utilizado?	x		
	3	Bancadas	As bancadas de trabalho têm apenas materiais e documentos atualizados?		x	
	4	Materiais, produto não conforme, stock intermédio	Os materiais em reparação, a aguardar material e consumíveis estão separados e identificados?		x	
Organização	5	Acessos	Os acessos a equipamento, bancadas estão desimpedidos?		x	
	6	Armários e gavetas	Estão limpos e organizados?		x	
	7	Stock de materiais	Todos os materiais têm local definido e estão identificados?		x	
Limpeza	8	Geral	A Arrumação faz parte das tarefas diárias?		x	
	9	Pisos e envolventes	Estão limpos e em bom estado de conservação?		x	
	10	Máquinas e equipamentos	Estão limpos e em bom estado de conservação?	x		
	12	Máquinas e equipamentos	Os utensílios de trabalho de utilização não-permanente, estão limpos?	x		
Normalização	14	Meios de limpeza	Existem utensílios de limpeza e estão em bom estado e arrumados?	x		
	15	Máquinas e equipamentos	Estão definidos planos de limpeza para todos as máquinas e equipamentos? Estão actualizados e são cumpridos?		x	
	16	Layout	Planos de limpeza estão disponíveis e acessíveis?		x	
	17	EPI's	O equipamento de proteção é utilizado e os meios de segurança são respeitados?	x		
	18	Geral	Planos de trabalho estão acessíveis e atualizados?		x	
	Disciplina	19	Formação	Todos os colaboradores têm formação em 5S? Conhecem os fundamentos e os seus objectivos?	x	
20		Quadro PMS/5S	Os relatórios das auditorias 5S e as listas de ações estão disponíveis e atualizados?	x		Não aplicável
21		Auditoria 5S's	As ações definidas estão a ser cumpridas? Há melhoria evidente dos resultados das auditorias 5S's?	x		Não aplicável
22		Auditoria 5S's	Houve evolução ou correções desde a última auditoria?	x		Não aplicável

Resultado da bancada 35%

Figura 40 - Primeira auditoria 5S

Finda a primeira auditoria foram delineadas estratégias, referidas anteriormente, para mitigar as anomalias identificadas. Posteriormente foi realizada uma segunda auditoria (figura 41), onde foi possível obter um resultado de 85%, havendo assim uma melhoria comparativamente à primeira.

Bancada nº		Bancada nº1		AUDITORIA 5S - Bancadas		
Nº Auditoria		1				
Auditado por		André Costa				
Data		24/04/2020				
5S	Nº	Item a Verificar	Critério de Avaliação	OK	NOT OK	Comentários
Triagem	1	Equipamentos, ferramentas e auxiliares	Todos equipamentos e ferramentas estão a ser usados e são necessários?	x		
	2	Materiais	Não há stock de materiais desnecessários ou a devolver ao armazém que não está a ser utilizado?	x		
	3	Bancadas	As bancadas de trabalho têm apenas materiais e documentos atualizados?	x		
Organização	4	Material, produto não conforme, stock intermédio	Os materiais em reparação, a aguardar material e consumíveis estão separados e identificados?	x	x	
	5	Acessos	Os acessos a equipamento, bancadas estão desimpedidos?	x		
	6	Armários e gavetas	Estão limpos e organizados?	x		
	7	Stock de materiais	Todos os materiais têm local definido e estão identificados?	x	x	
	8	Geral	A Arrumação faz parte das tarefas diárias?	x		
Limpeza	9	Pisos e envolventes	Estão limpos e em bom estado de conservação?	x	x	
	10	Máquinas e equipamentos	Estão limpos e em bom estado de conservação?	x		
	12	Máquinas e equipamentos	Os utensílios de trabalho de utilização não-permanente, estão limpos?	x		
	14	Meios de limpeza	Existem utensílios de limpeza e estão em bom estado e arrumados?	x		
Normalização	15	Máquinas e equipamentos	Estão definidos planos de limpeza para todos as máquinas e equipamentos? Estão atualizados e são cumpridos?	x		
	16	Layout	Planos de limpeza estão disponíveis e acessíveis?	x		
	17	EPI's	O equipamento de proteção é utilizado e os meios de segurança são respeitados?	x		
	18	Geral	Planos de trabalho estão acessíveis e atualizados?	x		
Disciplina	19	Formação	Todos os colaboradores têm formação em 5S? Conhecem os fundamentos e os seus objetivos?	x		
	20	Quadro PMS/5S	Os relatórios das auditorias 5S e as listas de ações estão disponíveis e atualizados?	x		
	21	Auditoria 5S's	As ações definidas estão a ser cumpridas? Há melhoria evidente dos resultados das auditorias 5S's?	x		
	22	Auditoria 5S's	Houve evolução ou correções desde a última auditoria?	x		
				Resultado da bancada		85%

Figura 41 - Segunda auditoria 5S

3.4.4 Elaboração de documentos de apoio à produção

Após a análise relativa às paragens e erros de produção, devido, muitas das vezes, à falta de comunicação entre setores, foi implementada uma ferramenta de gestão visual.

Na implementação da medida de gestão visual foi necessário, em primeiro lugar, que todo o setor produtivo, incluindo o responsável do molde e seu projetista, tivessem conhecimento do planeamento do molde, desde o início do projeto até ao seu final, de forma a agilizar todo o processo, caso surjam dúvidas durante a execução do molde. Neste sentido, a SF Moldes já realiza um diagrama de *Gantt*, com a data de início e previsão da conclusão do projeto. Contudo, este não era disponibilizado à bancada que responsável pelos trabalhos de ajuste e afinação do molde, como polimentos e pequenas correções.

Neste diagrama de *Gantt*, foram adicionados o comercial responsável e o projetista do molde. Esta informação torna-se importante, pois podem surgir dúvidas em relação à cinemática do molde. Foram adicionadas também as visitas de clientes e respetivos ensaios. Por fim, foram identificados os moldes em atraso ou em situação crítica, onde é colocado um cartão verde, amarelo e vermelho à frente de cada molde.

Este diagrama foi afixado num local estratégico, de forma a todas as bancadas o conseguirem visualizar (figura 42).




Figura 42 - Localização da informação

Por motivos de confidencialidade, não é permitido apresentar nenhum diagrama de *Gantt* dos moldes em execução neste momento na SF Moldes.

Como apoio ao diagrama de *Gantt*, foi desenvolvido um quadro para melhoria contínua, de forma a ir ao encontro da implementação do *kaizen*. Este quadro dispõe de uma zona onde qualquer colaborador pode pendurar um *post-it*, com uma necessidade ou problema, que tenha detetado na bancada. Posteriormente, este problema será lido pelo responsável de bancada e pelo responsável da produção, que darão resposta ao mesmo. Serão também descritos no quadro, o mapa de férias de todos os colaboradores, as formações (caso existam), notícias e informações relevantes sobre a empresa, os índices de não conformidades, acidentes e reclamações. Assim, com estas medidas, todos os funcionários estão informados do que se passa no setor produtivo, ajudando assim, como uma equipa, a suprimir problemas que possam surgir.


Paralelamente, foi também criado uma ficha de trabalhos a realizar (figura 43). Esta ficha é ser preenchida por cada responsável de cada bancada, de forma a que os restantes membros desta, tenham um trabalho delineado e, assim, conseguirem planeá-lo com antecedência, consoante a sua prioridade. Este plano deve ser atualizado, sempre que assim o justificar.



Nº Molde	Item Nº	Tarefa	Colaborador	T. Estimado	T. Real

Figura 43 - Template ficha

A ficha representada ajuda bastante o planeamento, por se apresentar de uma forma muito simples. Esta tem indicação do número do molde, do n.º do item, tarefa, colaborador a executar essa tarefa, tempo estimado e tempo real. Na SF Moldes, cada molde e componente (denominado por “item n.º”), tem uma denominação numérica, pelo que esta informação é importante nesta ficha. Na figura 44 está apresentado um excerto de uma ficha preenchida.



Nº Molde	Item Nº	Tarefa	Colaborador	T. Estimado	T. Real
191005-05	SI6200	Ajustar levantador	António e Rui	20min	

Figura 44 - Exemplo de preenchimento da ficha

Neste momento, a contabilização do tempo real é realizada através de uma ferramenta digital, o *WorkPlan*. Deste modo, as tarefas da ficha têm de ser inseridas no programa, de forma a haver uma contabilização real das tarefas. Quando estas findarem, o campo Tempo Real, será preenchido pelo gabinete técnico, que de seguida, faz uma comparação com o tempo estimado. Esta análise é importante, de forma a perceber se o tempo estimado está correto, se é necessário ajustá-lo ou a razão pelo qual demorou mais do que o previsto. Com esta comparação, ao longo do tempo, também é possível realizar o diagrama de *Gantt* inicial, com um tempo estimado para finalizar um molde mais próximo da realidade.


3.4.5 Regulação através de *kanbans* no *stock* de grafite

Para contextualizar, a eletroerosão é utilizada para fabricar peças com geometria complexa e de elevada dureza, onde há conversão da energia elétrica, através de descargas elétricas entre o elétrodo e a peça, em energia térmica. A descarga elétrica ocorre num fluido, onde são imersos o elétrodo e o material a ser maquinado. Existem vários materiais para os elétrodos, como o cobre e a grafite. Contudo, as de grafite são os mais utilizados na empresa, pois tem um elevado ponto de fusão, menor dureza, resistência mecânica e rigidez em relação ao cobre.

Como foi referido anteriormente, o *stock* existente não segue um padrão, pelo que se optou por criar um supermercado de grafite no setor da erosão e cujo *stock* é regulado por *kanbans*.

A grafite é encomendada em lotes e em tamanhos diferentes, pelo que foi necessário fazer uma inventariação da quantidade de cada lote assim como as respetivas dimensões. Neste sentido, foram criados vários cartões.

Na figura 45 é demonstrado um exemplo de um cartão que contém um lote de 10 blocos de grafite de dimensões 50x50x100mm.



Localização	Eletroerosão
Material	Grafite
Dimensões [mm]	50x50x100
Quantidade	10

Figura 45 - Cartão Kanban

Seguidamente, foi criado um quadro com três cores: verde, amarelo e vermelho. Para esta dimensão, considera-se que o *stock* máximo é de 100 unidades (verde), de segurança de 40 unidades (amarelo) e o mínimo é de 20 unidades (vermelho). Posteriormente, foi criado um quadro *kanban* para todas as dimensões. Para o caso apresentado, cada cartão significa que existem 10 unidades, ou seja, quando o quadro está cheio, existem 100 unidades em *stock* (figura 46).

Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená
Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica
Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100
Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10

Figura 46 - Quadro completo

À medida que são utilizados um conjunto de 10 unidades de grafite, é retirado um cartão e a parte de trás do quadro aparece a verde (figura 47).

Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená
Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica
Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100
Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10

Figura 47 - Quadro sem um cartão

Contudo, quando são retirados 7 cartões, o fundo fica amarelo, significando que já entrou no *stock* de segurança (figura 48).

Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená
Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica
Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100
Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10

Figura 48 - Quadro sem 7 cartões

Do mesmo modo, quando se retira 9 cartões, o fundo fica preenchido a vermelho, significando que já entrou no *stock* mínimo e só existem 10 unidades (figura 49).

Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená	Localização	Heteroordená
Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica	Material	Gráfica
Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100	Dimensões [mm]	56x52x100
Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10	Quantidade	10

Figura 49 - Quadro sem 9 cartões

É de salientar que todos os colaboradores desta secção são formados sobre o procedimento da metodologia *kanban*, sendo que o responsável de produção ficaria incumbido de levar o cartão que sai do quadro, até ao departamento de compras, de forma a que este fosse repostado por um novo conjunto. Assim que os blocos de grafite chegarem à SF Moldes, o cartão é repostado no quadro.

3.4.6 Fase de implementação RCM (FMEA)

De forma a auxiliar a manutenção com mais ferramentas, elaborou-se um estudo sobre como proceder para executar uma análise FMEA, que fosse posteriormente adaptada a qualquer máquina na empresa ou componente para uma respetiva máquina.

Deste modo, foi necessário compilar toda a informação necessária, tais como: *Template* FMEA, a severidade, deteção e ocorrência do erro.

3.4.6.1 Documentos FMEA

A SF Moldes não possuía um *template* de forma a ser realizada uma análise FMEA. Para tal, foi elaborado um, (figura 50). Este foi executado de maneira a que fosse possível a sua reutilização no futuro, sendo possível adaptá-lo para todo o tipo de máquinas e componentes, como foi referido anteriormente.

Nome da peça/referência e função da peça	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Gravidade	Potencial/ais causa(s) mecanismo(s) da(s) falhas(s)	Ocorrência	Controlos atuais do processo	Deteção	NPR	Ações recomendadas
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	

Figura 50 - Template FMEA

Seguidamente, foi necessário criar índices de severidade, deteção e ocorrência. Estes foram definidos em conjunto com a equipa de manutenção da empresa e tendo em conta os apontamentos da cadeira de Técnicas e ferramentas da qualidade, lecionada no 2ºSemestre do 1ºano no decorrente mestrado, contemplando o contexto industrial onde a empresa se insere.

O índice de severidade quantifica um potencial falha e o que esta pode afetar a máquina/componente, definido de 1 a 10, usando os critérios utilizados na tabela 5.

Tabela 5 - Severidade

Efeito	Severidade	Classificação
Perigoso – sem aviso	Existem problemas de segurança ou violação de qualquer disposição legal. A falha ocorrerá sem aviso.	10
Perigoso – com aviso	Existem problemas de segurança ou violação de qualquer disposição legal. A falha ocorrerá com aviso.	9
Muito elevado	Poderá ter de ser desativada; Máquina final inoperacional, perdendo as duas funções primárias.	8
Elevado	Uma porção dos componentes podem ter de ser dispensados para o lixo; O produto fica operacional, mas com um nível reduzido de desempenho.	7 e 6
Baixo	100% do produto pode ter de ser retrabalhado; Produto final operacional, mas alguns itens ficam operacionais a um nível reduzido de desempenho.	5
Muito baixo	O produto pode ter de ser escolhido e uma porção retrabalhado.	4
Pequeno	Uma porção do componente pode ter de ser retrabalhado ou corrigido na linha de montagem do cliente.	3 e 2
Nenhum	Nenhum efeito.	1

Seguindo a mesma lógica, definiu-se o índice de deteção. Este representa a capacidade de o sistema implementado detetar a falha. Pode ser controlado através de inspeção visual ou dispositivos criados para o efeito, tais como sensores. Este classifica-se de 10 a 1, conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Deteção

Probabilidade de deteção de um defeito pelo sistema de controlo	Classificação
Quase impossível: Nenhum sistema de controlo conhecido é capaz de detetar a falha	10
Muito remota: Probabilidade muito remota de detetar a falha com os controlos existentes	9
Remota: Probabilidade remota de detetar a falha com os controlos existentes	8
Muito baixa: Probabilidade muito baixa de detetar a falha com os controlos existentes	7
Baixa: Probabilidade baixa de detetar a falha com os controlos existentes	6
Moderada: Probabilidade moderada de detetar a falha com os controlos existentes	5
Moderadamente alta: Probabilidade moderadamente alta de detetar a falha com os controlos existentes	4
Alta: Probabilidade alta de detetar a falha com os controlos existentes	3
Muito alta: Probabilidade muito alta de detetar a falha com os controlos existentes	2
Quase certa: É quase certo que os controlos existentes detetam o modo de falha.	1

Por fim, a probabilidade de ocorrência da falha, classificado de 1 a 10. De todos os índices, este é o mais provável de falhar na análise, caso não haja um histórico de dados (tabela 7).

Tabela 7 – Falha

Possibilidade de falha	Probabilidade de ocorrência	Classificação
Muito elevada: a falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Elevada: Geralmente associada a processos similares onde se observam muitas falhas	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Geralmente associada a processos em que se observam falhas isoladas em processos similares	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: Verificam-se falhas isoladas em processos similares	1 em 15000	3
Muito baixa: Só algumas falhas isoladas em quase todos os processos similares	1 em 15000	2
Remota: A falha é improvável. Não se verificam falhas em processos muito semelhantes	1 em 1500000	1

3.4.6.2 Critérios da aplicação da lógica RCM

Como complemento à ferramenta FMEA é comum a criação de um fluxograma, servindo de apoio à decisão relativamente à estratégia a seguir para a redução da classificação

RPN de um determinado modo de falha. Neste sentido, é utilizado um fluxograma de apoio à decisão criado por Gonçalves (2017), pois este vai de encontro às necessidades apresentadas. As ações recomendadas são atribuídas quando os índices de gravidade estão entre o valor 9 e 10 e/ou o NPR era maior que 100 (figura 51).

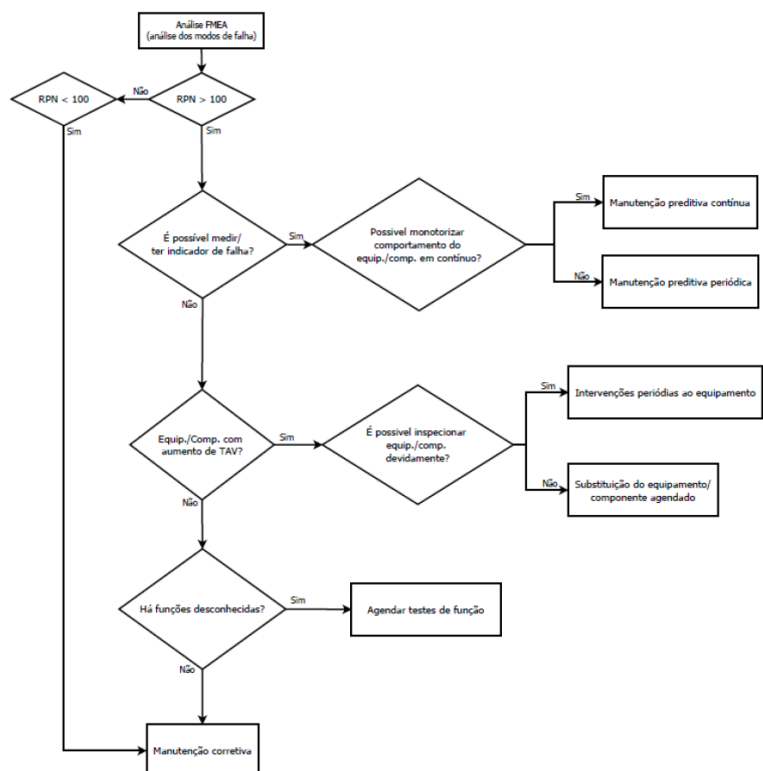


Figura 51 – Lógica RCM (Gonçalves, 2017)

3.4.6.3 *Análise FMEA*

Finalizado a preparação do *template* e respetivos índices, procede-se a uma análise exemplo FMEA. Devido à pandemia da Covid-19, e por consequência, da aplicação das medidas de confinamento impostas pela Direção Geral da Saúde, a empresa minimizou o contacto interpessoal. Neste sentido, não foi realizado um FMEA a uma máquina da produção, como inicialmente previsto, pois exigia uma grande disponibilidade de colaboradores e sua aglomeração. Assim, foi realizado um FMEA a um secador de mãos, existente nos vários balneários da SF Moldes. Embora esta seja de dimensão mais pequena, com este exemplo demonstrativo, para além de se conseguir aplicar na empresa, podia ser replicado para todo o tipo de máquinas. Foi possível identificar todos os componentes que padecessem de possível manutenção: Filtro de Proteção, Filtro, Tampa Traseira, Carcaça do Precipitador, Corpo Principal, Ventoinha, Base Motor, Motor, Aquecedor, Tampa Frontal, Botões, Fio de Alimentação e Luz Indicativa. Foi identificada a função de cada peça, o potencial modo de falha, o potencial efeito de falha e sua gravidade. A título de exemplo, o filtro de proteção tem como potencial modo de falha a retenção de partículas e o potencial efeito de falha a obstrução do sistema de ventilação, sendo que a gravidade é de 3. Estes falhas foram descritas com ajuda de colaboradores experientes na área da manutenção, assim como pesquisa online. Numa segunda fase, foram analisadas as potências causas/mecanismos das falhas e sua ocorrência. Utilizando o mesmo exemplo, no filtro de proteção, a potencial causa é a sujidade e a ocorrência de 6. Numa terceira fase, foram identificados quais os controlos atuais do processo e sua deteção. Com o produto da severidade, ocorrência e deteção, é calculado o número de prioridade de risco, que neste exemplo, é de 144. Por fim, são consideradas as ações recomendadas para suprimir as falhas causadas.

Na figura 52 é possível observar a análise FMEA.

SF Moldes S.A.										
Equipamento		-----								
Nº FMEA		-----								
Realizado por		-----								
Data de Revisão		-----								
Nome da peça/referência e função da peça	Potencial modo de falha	Potencial efeito da falha	Severidade	Potenciais/risco(s) mecanic[o]s(ões) / falha(s)	Falha	Controlos atuais do processo	Deteção	NPR	Ações recomendadas	
1 - Filtro de proteção / Filtar a sujidade	Retenção de partículas	Obstrução do sistema de ventilação	3	Sujidade	8	Inspeção Visual	8	144	Limpeza regular	
		Obstrução do sistema de ventilação / densificação da ventoinha	4	Quebra do filtro	2	Não aplicável	8	64		
2 - Filtro / Filtar a sujidade	Retenção de partículas	Obstrução do sistema de ventilação	3	Sujidade	6	Inspeção Visual	8	144	Limpeza regular	
		Obstrução do sistema de ventilação / densificação da ventoinha	4	Quebra do filtro	2	Não aplicável	8	64		
3 - Tampa traseira / Proteção	Partido	Fraca resistência ao choque	4	Queda	4	Teste de qualidade do material	2	32		
		Inestético	1	Queda	4	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	2	8		
4 - Carcaça do precipitador / Proteção	Empenado	Não encaixa	3	Queda	4	Teste de resistência mecânica (fujiga)	1	12		
	Partido	Fraca resistência ao choque	3	Queda	3	Testes de resistência mecânica	6	36	Teste de resistência mecânica	
	Empenado	Não encaixa	5	Queda	3	Testes de resistência mecânica	5	25	Teste de resistência mecânica	
5 - Corpo principal / Proteção	Não encaixa	Não fixação do precipitador	5	Mau dimensionamento da peça	1	Teste mecânico	5	25	Teste mecânico através de uma simulação	
	Partido	Fraca resistência ao choque	6	Queda	4	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	2	48		
	Empenado	Inestético	2	Queda	4	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	2	16		
6 - Ventoinha / Produzir corrente de ar	Não encaixa	Não encaixa	5	Queda	4	Teste de resistência mecânica (fujiga)	1	20		
	Alhetas partidas	Perda de função	8	Desgaste das alhetas	2	Teste de funcionamento	5	20	Teste de resistência às alhetas	
			8	Queda	4	Teste de funcionamento	6	192	Teste de resistência às alhetas	
7 - Base Motor / Proteção e suporte do motor	Partido	Fraca resistência ao choque	7	Excesso de sujidade	3	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	9	72		
		Inestético	2	Queda	3	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	8	48	Teste de resistência mecânica	
	Empenado	Não encaixa	8	Queda	3	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	4	24	Teste de resistência à fujiga	
8 - Motor / Converter potência em rotação e alimentação da ventoinha	Sem rotação (Motor)	Não fixação do motor no secador	8	Mau dimensionamento da peça	2	Teste mecânico	1	16	Teste mecânico através de uma simulação	
		Não existe circulação do ar	8	Falha do motor	1	Teste elétrico	2	32	Introduzir um teste eléctrico a todos os componentes eléctricos	
	Baixa rotação (Motor)	Circulação de ar reduzida	Sobreaquecimento do motor	9	Fricção em componentes externos	5	Teste mecânico	2	36	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências
				3		2	Inspeção Auditiva	2	12	
				6	Motor desalinhado	3	Inspeção Visual	9	162	Alinhar o motor
	Sem rotação (Ventoinha)	Não existe circulação do ar	Ruído	4	Motor desalinhado	3	Inspeção Visual / Auditiva	4	48	
				8	Conexão da ventoinha folgada	2	Não aplicável	5	20	Teste mecânico e dimensional à ventoinha
				8	Falha de alimentação de potência	2	Teste elétrico	1	16	Introduzir um teste eléctrico a todos os componentes eléctricos
9 - Aquecedor / Condução de calor	Temperature insuficiente	Não cumpre as funções	7	Mau dimensionamento do aquecedor	1	Teste mecânico	7	49		
			7	Densificação	4	Não aplicável	5	140	Introduzir um teste mecânico a 100% das unidades com registo de evidências	
		Não funciona	Não circulação de ar quente	8	Resistências densificadas	2	Teste elétrico	9	144	Introduzir um teste de corrente eléctrica à resistências
10 - Tampa frontal / Proteção	Partido	Fraca resistência ao choque	4	Queda	4	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	2	32		
		Inestético	2	Queda	4	Inspeção visual e testes de resistência mecânica	2	16		
	Empenado	Não encaixa	4	Queda	4	Teste de resistência mecânica (fujiga)	1	16		
	Derretido	Possíveis queimaduras ao operador	9	Sobreaquecimento do motor	5	Inspeção visual / olfativa	2	20	Desligar o aparelho	
	11 - Botão: ON/OFF do equipamento	Ao pressionar o botão não faz a ligação	Encravamento do botão	6	Interruptor partido	5	Inspeção visual	1	36	
OFF - Secador não desliga			6	Interruptor partido	7	Teste mecânico	2	24		
			8	Falha na alimentação	3	Teste eléctrico	1	18	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			1	Fusível danificado	7	Controlo visual	2	28		
			8	Encravamento do botão	6	Inspeção visual	1	48	Teste mecânico ao botão	
			4	Interruptor partido	2	Teste mecânico	2	32		
			8	Falha na alimentação	3	Teste eléctrico	1	24	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			1	Fusível danificado	7	Controlo visual	2	140	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
11 - Botão: Quente/Frio do equipamento	Ao pressionar o botão não faz a ligação	Quente - Secador não fornece ar quente	6	Encravamento do botão	6	Inspeção visual	1	36	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			4	Interruptor partido	2	Teste mecânico	2	24		
			8	Falha na alimentação	3	Teste eléctrico	1	18	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			1	Fusível danificado	7	Controlo visual	2	64	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			7	Encravamento do botão	6	Inspeção visual	1	42		
			4	Interruptor partido	2	Teste mecânico	2	28		
			8	Falha na alimentação	3	Teste eléctrico	1	24	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
			1	Fusível danificado	7	Controlo visual	2	58	Introduzir um teste eléctrico a 100% das unidades com registo de evidências	
12 - Fio de alimentação / Condução da energia eléctrica entre a fonte	Especificações incorrectas	Sobreaquecimento	8	Mau dimensionamento da secção do fio e do isolamento	2	Teste de funcionamento	30	180	Teste de resistência do fio / Inspeção visual	
			8	Mau dimensionamento da secção do fio e do isolamento	3	Teste de funcionamento	30	160		
			9	Curto circuito	3	Má qualidade do material	3	150	Teste de resistência mecânica ao material	
			9	Choque eléctrico	3	Má qualidade do material	3	170		
			10	Risco de incêndio	4	Mau isolamento	4	120	Inspeção visual	
13 - Luz indicativa / Indica a presença de corrente eléctrica no circuito	Lâmpada não acende	Não funciona	8	Má qualidade do material	1	Teste eléctrico	1	24		
		Curto circuito; Denso do mecanismo do secador;	1	Lâmpada fundida	7	Teste Eléctrico	1	7		

Figura 52 - Análise FMEA

3.4.6.4 Resultados da análise FMEA

Terminada a análise, das 13 peças examinadas, foram identificados 28 potenciais modos de falha e 40 potenciais efeitos dessas falhas.

Os resultados são apresentados nos Gráficos X, Y e Z, referentes aos índices de severidade, ocorrência e deteção, respetivamente.

No que diz respeito ao índice de severidade, 30% correspondem à Classificação 8, isto é, efeito muito elevado, significando que a máquina poderá ficar inoperacional e, assim, perder as suas devidas funções. Notamos ainda que mais de 50% corresponde a classificações iguais ou superiores a 6, ou seja, efeito elevado, significando que uma porção dos componentes podem ter de ir para o lixo, contudo a máquina pode ficar operacional, mas com um desempenho reduzido (figura 53).

Para o índice de falha, a Classificação 2 e 3 representam 50% das falhas detetadas (25% cada uma), e a Classificação mais alta registada é 7. Nota-se que a Classificação 4 apresenta 21% dos casos registados (figura 54).

Relativamente ao índice de deteção, nota-se que 58% corresponde às Classificações 1 e 2, isto é, a probabilidade de deteção da falha é quase certa e muito alta. Todas as classificações seguintes (3 a 10), de todas elas, apenas a Classificação 8 apresenta mais de 10% dos casos. Todas as outras representam, em média, 5% dos casos, cada uma (figura 55).

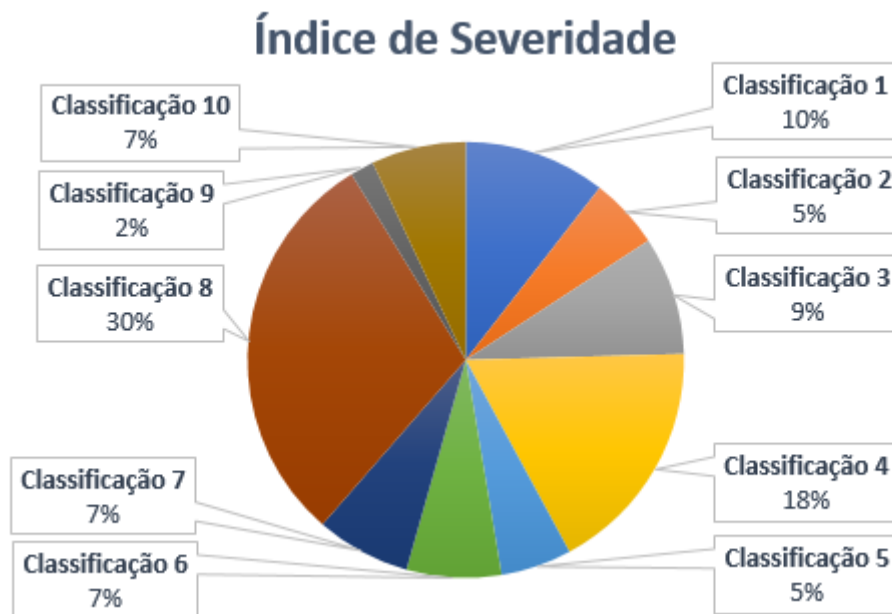


Figura 53 - índice de Severidade

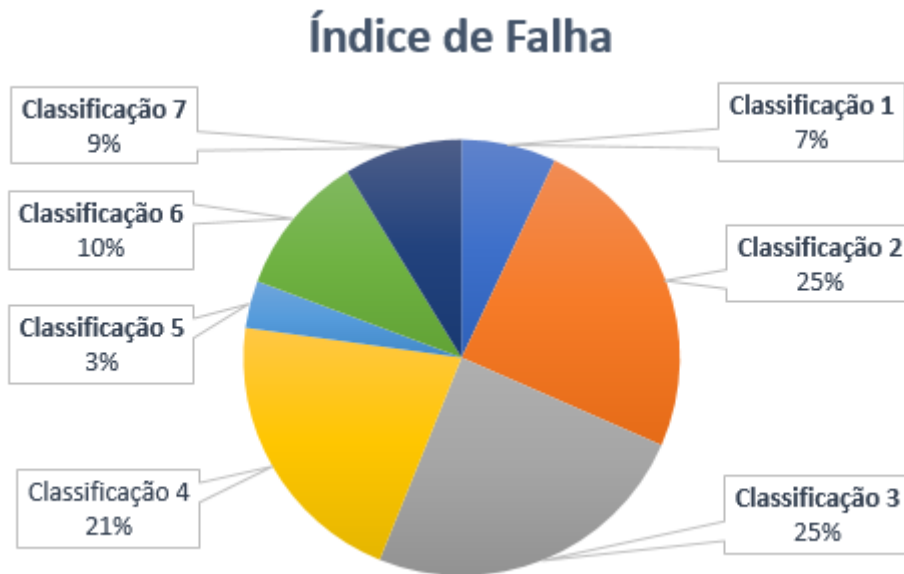


Figura 54 - índice de Falha

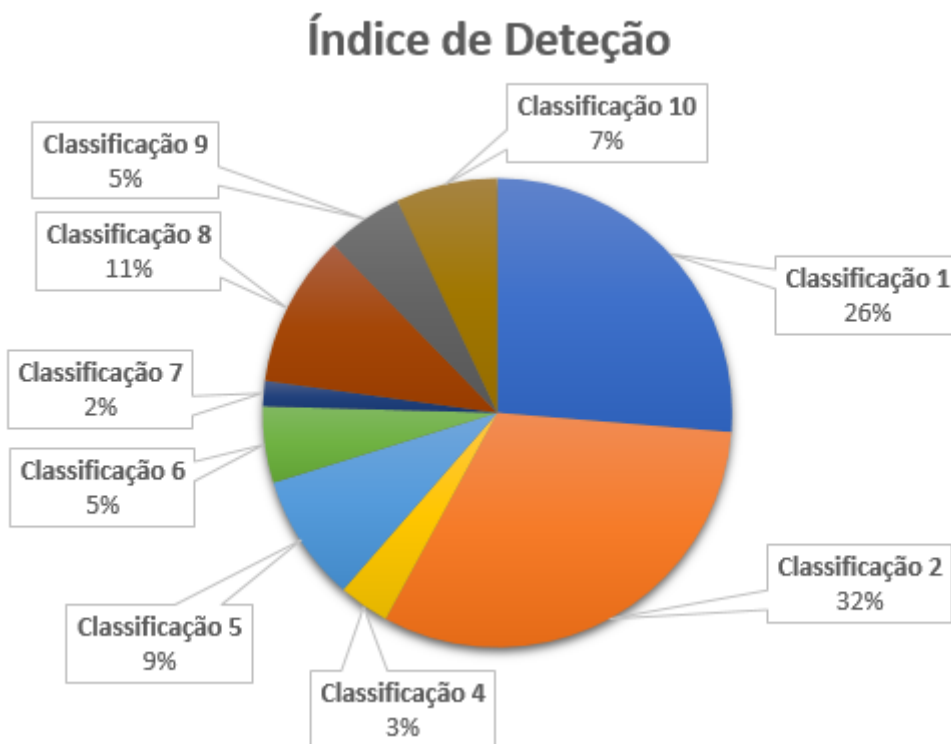


Figura 55 - Índice de Deteção

Seguidamente, foram analisados os modos de falha críticos, isto é, aqueles que foram identificados, como sendo necessário aplicar ações recomendadas. Assim sendo, as ações recomendadas foram:

- **Filtro de Proteção:** como principal modo de falha, foi identificado a retenção de partículas, o qual, aquando da acumulação de partículas, poderá comprometer o sistema de ventilação. É recomendada uma limpeza periódica ao filtro. NPR máximo definido de 144.
- **Filtro:** seguindo a mesma lógica do filtro de proteção, e sendo este outro filtro com função semelhante, as mesmas condições também se aplicam neste caso. É recomendada também uma limpeza periódica ao filtro. NPR máximo definido em 144.
- **Tampa Traseira:** para esta tampa estar em falha, foi definido que estaria partida ou empenada, podendo não encaixar corretamente no resto dos componentes. Para combater este modo de falha, é feita uma inspeção visual e testes de resistência ao material. NPR máximo definido de 32.
- **Carcaça do Precipitador:** para que a carcaça esteja em falha, foi definido que estaria partida ou empenada, podendo não encaixar corretamente no resto dos componentes. Para combater este modo de falha, é feita um teste de resistência ao material. NPR máximo definido de 75.
- **Corpo Principal:** os potenciais modos de falha são “peça partida” ou “peça não encaixa”. Como medida para combater estes dois eventos, é feita uma inspeção visual e um teste mecânico aos materiais a ser utilizados neste componente. NPR máximo definido de 48.
- **Ventoinha:** neste caso, o único modo de falha contemplado é a possibilidade de haver alhetas partidas, originadas por desgaste, queda ou sujidades presentes. Para prevenir estas ocorrências, recorreremos a um teste de resistência as alhetas e uma limpeza regular. NPR máximo definido de 192.
- **Base Motor:** os potenciais modos de falha são “base partida”, “base empenada” e “base não encaixa”. Como medida para combater estes eventos, é feita um teste de resistência mecânica, com o auxílio de simulação e testes de fadiga. NPR máximo definido de 144.
- **Motor:** Um dos modos de falha detetados é a falha no motor, quer seja a falha total ou baixa rotação do motor. O efeito da falha é a defeito na circulação de ar, ou no caso do segundo modo de falha, a circulação reduzida do fluxo de ar. A proposta para combater este modo de falha é recorrendo a um teste mecânico e um teste

elétrico a todas as unidades fabricadas. É necessário fazer um teste sonoro, para saber o número de decibéis do componente, e garantir que está dentro dos limites legais. Desta forma prevenimos o modo de falha que alerta para ruído elevado. NPR máximo definido de 192.

- **Aquecedor:** para este componente, identificamos dois potenciais modos de falha. Uma dessas falhas expressa-se através do componente não alcançar a temperatura mínima suficiente, que pode ser devido a um dimensionamento errado ou algum componente danificado. O outro potencial modo de falha é não funcionar e deve-se a componentes avariados ou queimados. NPR máximo definido de 144.
- **Tampa Frontal:** para esta tampa estar em falha, teria de estar partida ou empenada ou em último caso, derretida, devido ao ar quente a passar durante um período alargado. Para combater tais ocorrências, é necessária uma inspeção visual e um teste aos materiais a ser utilizados nestes componentes. NPR máximo definido de 90.
- **Botões:** Interruptor on\off ou de aquecimento danificado é o nosso modo de falha, que pode ser causado por lâmpada fundida, curto circuito, fusível danificado, interruptor partido ou falha na alimentação. NPR máximo definido de 112.
- **Fio de Alimentação:** os modos de falha possíveis são Cabo partido, sobreaquecimento, ficha ou especificações incorretas. Para os combater, é necessário proceder a um teste elétrico, e garantir a qualidade do material. NPR máximo definido de 320.
- **Luz Indicativa:** o modo de falha é a Luz não acender. É necessário fazer um teste elétrico. NPR máximo definido de 7.

Analisando os índices de gravidade e os valores de NPR gerados, foram pensadas e sugeridas soluções para reduzir o aparecimento de ocorrências inesperadas/indesejadas, que poderiam criar a insatisfação ou perigo do utilizador. As intervenções principais seriam focadas nas áreas com maior índice de gravidade, pois estas poderiam pôr em causa a segurança do utilizador, bem como a sua integridade física, que nunca pode ser posta em causa.

Através da análise FMEA podemos concluir quais os componentes que requerem mais ações recomendadas. Deste modo, identificou-se como componente mais crítico o Fio de alimentação, seguido da Ventoinha e do Motor.

Apreciando globalmente o equipamento, observa-se que 46% das potenciais causas identificadas solicitam a aplicação de ações recomendadas.

Partindo da análise FMEA feita, é possível verificar quais os modos de falhas e quais as suas possíveis causas de uma forma mais precisa. São identificados também os problemas existentes na estratégia de manutenção até então adotada, que através de um estudo de ações de melhoria, ajudada ao aumento da disponibilidade dos equipamentos.

Relativamente ao departamento de manutenção, constatou-se a inexistência de ações preventivas de inspeção direcionadas para o controlo do estado de conservação dos vários equipamentos, refletindo-se no índice de deteção. Assim, foi recomendado a elaboração de um plano de manutenção preventiva, seguindo a lógica RCM, onde são compiladas rotas de inspeção visual frequentes aos equipamentos, com o objetivo de monitorizar periodicamente, o seu estado de funcionamento e aplicar rotas de intervenção para a identificação de falhas, antes que estas provoquem, por exemplo, quebra de eficiência das máquinas. O plano preventivo será composto por rotas e inspeção visual, consistindo na inspeção regular dos equipamentos em funcionamento, onde é avaliado a sua condição de funcionamento e performance, prevenindo eventuais falhas. Esta rota de inspeção apresenta inúmeras vantagens, pois não necessita de uma paragem programada para ser posta em prática, promovendo também um maior contacto e conseqüente *feedback* da operação com os técnicos responsáveis pela manutenção, obtendo-se assim, o máximo de informação possível. As rotas de intervenção periódicas, serão aplicadas quando não for possível fazer a inspeção visual. Estas consistem numa intervenção invasiva, onde há desmontagem do equipamento em causa, recorrendo-se a métodos de medição visuais, de forma a avaliar o nível de desgaste dos componentes. Através destes dois métodos, é expectável que haja uma diminuição da probabilidade de ocorrência de falhas e um aumento na capacidade de detetar possíveis causas de falha, enumeradas na análise FMEA.

3.5 Análise de Resultados

Após serem realizadas as propostas de melhoria, neste subcapítulo é feita uma análise dos resultados das mesmas, com o intuito de compreender quais os resultados e conseqüente impacto na empresa. É de notar que foram sugeridas melhorias para três departamentos distintos: i) departamento de desenho de Moldes, Produção e Manutenção, cada um deles importantes para a organização. No primeiro departamento, foram criadas duas ferramentas que auxiliam o projetista a desenvolver o seu trabalho de forma normalizada e metódica, levando assim a menos erros, que posteriormente resultam em não conformidades na produção e custos desnecessários. Na produção foram propostas três melhorias que permitiram tornar o espaço mais arrumado, incrementar a comunicação entre setores e normalizar o *stock* de grafite. Por último, foi possível criar uma ferramenta que permitiu prevenir e até mitigar todas as avarias e paragens dos equipamentos existentes na fábrica. Todas as melhorias implementadas e sugeridas, levam a SF Moldes a aumentar, de forma geral, a sua competitividade e superar as expectativas dos seus consumidores (tabela 8).

Tabela 8 – Análise de resultados obtidos

Proposta de Melhoria	Melhoria obtida
Criação de base de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo de modelação de componentes; • Minimização de erros de modelação; • Redução de tempo final de modelação do molde
Aplicação do Método de Elementos Finitos	<ul style="list-style-type: none"> • Poupança na compra de aços • Dimensionamento de aços correta
Aplicação da ferramenta 5S	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da segurança do colaborador • Melhoria na limpeza • Redução de tempo desperdiçado à procura de ferramentas • Melhoria da auditoria de 35% para 85%
Elaboração de documentos de apoio à produção	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da comunicação entre setores • Aumento da produtividade • Aumento da autonomia produtiva
Regulação através de <i>kanbans</i> no <i>stock</i> de grafite	<ul style="list-style-type: none"> • Regularização de <i>stock</i>
Fase de implementação RCM (FMEA)	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição de manutenção corretiva • Aumento da produção, com a redução de avarias

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Principais contributos do trabalho
- 4.2 Valor acrescentado do trabalho para a SF Moldes, S.A
- 4.3 Dificuldades encontradas
- 4.4 Trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

As funções desempenhadas no estágio, desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado do curso de Engenharia mecânica, ramo de Gestão Industrial, propostas pela administração da SF Moldes, empresa no setor do ramo automóvel, permitiram-me integrar em três departamentos distintos da empresa.

4.1 Principais contributos do trabalho

A realização desta dissertação obteve como principais contributos em diferentes departamentos na empresa (DPM, produção e manutenção), tais como:

- Criação de base de dados
- Aplicação do Método de Elementos Finitos
- Aplicação da ferramenta 5S
- Elaboração de documentos de apoio à produção
- Regulação através de *kanbans* no *stock* de grafite
- Fase de implementação RCM (FMEA)

Na tabela 9, é apresentado o estado de implementação das melhorias supramencionadas.

Tabela 9 – Estado de implementação das melhorias

Principais contributos	Estado de implementação
Criação de base de dados	Base de dados totalmente funcional e implementada
Aplicação do Método de Elementos Finitos	Proposta desenvolvida e testada, contudo, carece de formação aos colaboradores de forma a conseguirem desenvolver o MEF no <i>software</i> CATIA V5.
Aplicação da ferramenta 5S	Todas as ferramentas implementadas e com <i>feedback</i> positivo por parte dos colaboradores
Elaboração de documentos de apoio à produção	Soluções atualmente implementadas, permitindo uma maior comunicação entre setores.
Regulação através de <i>kanbans</i> no <i>stock</i> de grafite	Metodologia totalmente implementada
Fase de implementação RCM (FMEA)	Método desenvolvido e testado, contudo, é necessário realizar estudo para todas as máquinas produtivas, de acordo com o <i>template</i> realizado, de forma a prever possíveis avarias

4.2 Valor acrescentado do trabalho para a SF Moldes, S.A

Durante todo o estágio foram desenvolvidas metodologias e ferramentas para implementar nesta indústria, permitindo a redução de tempos de execução, normalização do trabalho, redução de *stocks* e por consequência, custos de produção.

Neste sentido, foi possível implementar um espírito de melhoria continua em todos os departamentos, com os resultados supramencionados, motivando todos os colaboradores a continuarem a utilizar as metodologias presentes neste testemunho escrito.

4.3 Dificuldades encontradas

Durante o projeto houve situações de maior ou menor desafio, mas devido à pandemia da COVID-19, e por consequência, da aplicação das medidas de confinamento impostas pela Direção Geral da Saúde, a empresa minimizou o contacto interpessoal e a presença na parte produtiva, dificultando os objetivos inicialmente previsto. Apesar das dificuldades sentidas, este projeto foi crucial para o desenvolvimento das minhas competências, tanto a nível de trabalho em equipa, como um forte sentido de responsabilidade, autonomia, comunicação, exigindo de mim, muito trabalho e dedicação, tentando sempre melhorar a cada passo, com o intuito de terminar com mérito e rigor.

4.4 Trabalhos futuros

O futuro das empresas impõe, por si só, uma constante melhoria dos seus processos e a sua automatização, baseado na metodologia *Lean*. Torna-se fundamental que os principais fatores em mudança sejam constantemente melhorados, de forma a tornar as empresas, cada vez mais eficazes e eficientes. É imperativo uma implementação de registos e aperfeiçoamento organizativo de todos os processos, o que impõe uma melhoria na comunicação entre os vários setores internos e externos das empresas, providenciando assim um melhoramento constante e síncrono em todos os planos de ação.

Uma das medidas que a SF Moldes poderia incrementar para a indústria 4.0, era a criação de uma plataforma digital onde fosse possível: i) Os colaboradores acederem à sua página pessoal, para consultarem a sua assiduidade, declarações, recibos de vencimento, etc.; ii) Os clientes conseguirem fazer o acompanhamento, em tempo real, do seu molde. Nesta plataforma, estes poderiam aceder ao planeamento, tanto a nível de documentos como imagens, desde o CAD até ao ensaio do molde, de modo a comprovar o cumprimento do prazo deste; iii) A orçamentação estar ligada aos fornecedores. Sempre que a orçamentação de um molde estivesse concluída e aprovada, seria enviado essa informação para o fornecedor para que este reservasse a

quantidade de aço a utilizar; iv) Controlar e observar as ordens de fabrico de uma máquina. Atualmente na SF Moldes quando ocorre um erro, como uma falha de lubrificação, a máquina devia de avisar automaticamente o responsável, mas tal não acontece. Quando ocorre um erro destes, como o responsável dessa máquina não é avisado, embora o erro fique registado e como não há uma análise destes valores, pode levar uma avaria a longo prazo. Também quando está em modo automático, pode parar devido ao erro, levando conseqüentemente ao aumento do prazo de entrega.

Outras das medidas seria criar controlo dimensional em todos os centros de maquinagem presentes na empresa. Para tal, podia ser utilizado o laser para fazer o controlo automático dos valores medidos, de forma a informar os colaboradores, os resultados da peça e, caso este esteja fora das tolerâncias pré configuradas, notificar um responsável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, A. (2015). Metodologia Lean Manufacturing no processo produtivo de capas para assentos de automóvel. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Gestão Industrial. Universidade de Aveiro.

Álvares, A. J., Tonaco, R. P. & Fernandes, L. P. (2007). "Análise FMEA para aplicação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade: Estudo de caso em turbinas hidráulicas." Congreso de Computación Aplicada CAIP

Amaral, F. D. (2016). Gestão da Manutenção na Indústria. LIDEL, ISBN:9789897521515.

Antoniolli, I., Guariente, P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2017). "Standardization and optimization of an automotive components production line." *Procedia Manufacturing* 13: 1120-1127.

Apte, U. M., & Goh, C.-H. (2004). Applying lean manufacturing principles to information intensive services. *International Journal of Services Technology and Management*, 5(5/6), 488-506.

Aqlan, F., & Al-Fandi, L. (2018). Prioritizing process improvement initiatives in manufacturing environments. *International Journal of Production Economics*, 196, 261–268.

Arabian-Hoseynabadi H., Oraee H., & P. J. Tavner, P. J. (2010). "Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 32.7: 817-824.

Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance Management and Lean Manufacturing Practices in a Firm Which Produces Dairy Products. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 214–224.

Atieh, A. M., Kaylani, H., Almuhtady, A., & Al-Tamimi, O. (2016). A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(5–8), 1573–1586.

Baldaia, J. (2016) Aplicação de conceitos Lean em Retail. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Estratégia Empresarial, apresentado à Universidade Europeia, em Lisboa.

Banegas, D.L. & Vilacañas de Castro, L.S. (2019). "Action Research." in S. Mann & S. Walsh (eds.), *The Routledge handbook of English language teacher education* (pp. 570-582). London/New York: Routledge.

Barros, L. (2010). Estudo e implementação de Lean Manufacturing em PMEs. Trabalho realizado com a XC consultores. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Baynal, K., Sari, T & Akpınar, B. (2018). "Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and grey relational analysis: A case study." *Advances in Production Engineering & Management* 13.1: 69-80.

Bell, S. C. & Orzen, M. A. (2011). *Lean IT: Enabling and Sustaining Your Lean Transformation*. 1st Edition. Productivity Press. New York.

Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. London: Springer.

Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, 34(7), 876–940.

Blanchard, B. S. & Faabrycky, M. J. (1990) *System Engineering and Analysis*. Second Edition, 1990, Prentice-Hall Inc.

Bloem, J., Van Doorn, M., Duivesteyn, S., Excoffier, D., Maas, R., & Van Ommeren, E. (2014). The fourth industrial revolution. *Things Tighten*, 8, 11-15.

Bom, T. J. D. (2014). Comparação do desempenho de tecnologias alternativas de fabrico de moldes de injeção de plásticos. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, apresentado ao Técnico de Lisboa.

Carr, W. (2006). "Philosophy, Methodology and Action Research." *Journal of Philosophy of Education*, 40(4), 421-435

Moreira, A. C., & Pais, G. C. S. (2011). "Single minute exchange of die: a case study implementation." *Journal of technology management & innovation* 6.1: 129-146.

Cefamol (2017). Associação Nacional da Indústria de Moldes. From <https://www.cefamol.pt/>, consultado em 11 dezembro 2019.

CENTIMFE. (2004). Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plástico.

Chen, D., & Trivedi, K. S. (2005). Optimization for condition-based maintenance with semi-Markov decision process. *Reliability Engineering & System Safety*, 90(1), 25–29)

Chiozza, M. L. & Ponzetti, C. (2009). "FMEA: a model for reducing medical errors. *Clinica chimica acta* 404.1: 75-78.

Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M., & Suksabai, P. (2015). "Improving the productivity of sheet metal stamping subassembly area using the application of lean manufacturing principles." *Procedia Manufacturing* 2: 102-107.

Clegg, B., Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A., & de Cerio, J. M. D. et al. (2010). "5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance." *International Journal of Quality & Reliability Management*.

Colenso, M. (2000). *Kaizen strategies for improving team performance: how to accelerate team development and enhance team productivity/contributions by associates of the Europe Japan Centre*. Financial Times Prentice Hall (Pearson Education)

Comissão Europeia (2017). A EU e... O mercado único digital. From <http://publications.europa.eu/webpub/com/factsheets/digital/pt/>, consultado em 17 outubro 2019.

Corona, E., & Pani, F. E. (2013). A review of Lean-Kanban approaches in the software development. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 10(1), 1–13.

Costa, C., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2018). "Implementation of 5S Methodology in a metalworking company." *DAAAM International Scientific Book* 17: 001-012.

Coughlan, P. & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240.

Cruz, N. (2013). *Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Gestão Industrial, apresentado à Universidade do Minho.

Cunha, A. M & Pouzada, A. S. (1997). "Processo de Moldação por Injeção". Universidade do Minho, Engenharia de Polímeros. Guimarães, Portugal.

Custompart (s.d.) Injection Molding. From <http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding.>, consultado em 24 outubro 2019.

Das, B., Venkatadri, U. & Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1–4), 307–323.

Dassault Systèmes (2008) Generative Structural Analysis. From http://maruf.ca/files/catiahelp/CATIAfr_C2/estugCATIAfrs.htm, consultado em 4 novembro 2019.

Delgado, J. (2015). Manual de Catia V5 para análisis estructural estático y aplicaciones prácticas. Dissertação para a obtenção do Grau Licenciatura de Engenharia de Tecnologia Industrial, apresentado à Universidade de Sevilla.

Dickson, E. W., Singh, S., Cheung, D. S., Wyatt, C. C., & Nugent, A. S. (2009). Application of Lean Manufacturing Techniques in the Emergency Department. *Journal of Emergency Medicine*, 37(2), 177–182.

Dimitrescu, A., Babiş, C., Niculae, E., Chivu, O., & Dascălu, L. (2019). "Efficiency of a Production Line by Application of the Kanban Method." *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society (JRISS)*, Thoth Publishing House. ISSN: 2668-0416 1(1): 29–34

Eden, C. & Huxham, C. (1996). Action research for management research. *British Journal of Management*, 7(1), 75–86.

Eigl, F. A. & Langecker, G. R. (1998). "The Sandwich Injection Moulding Technology—Effects and Limiting Quantities for the Spatial Distribution of the Components." *Journal of reinforced plastics and composites* 17.16: 1404-1413.

EN, N. (2010). 13306: 2010—Terminologia da Manutenção. CEN, Novembro.

European Commission (2015). Digital transformation of European industry and enterprises, Strategic Policy Forum on Digital Entrepreneurship.

Erkoyuncu, J. A., del Amo, I. F., Dalle Mura, M., Roy, R., & Dini, G. (2017). Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality. *CIRP Annals*, 66(1), 465–468.

Faria, T. (2006). Normalização de moldes e processos na produção de peças plásticas. Relatório de Estágio/Projecto de Fim de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia da Univeridade do Porto.

Ferreira, V. (2016). Indústria 4.0. Revista de Cefamol – O Molde: Digitalização da Indústria. Ano 27 04.2016, n. º 109, páginas 34-35.

Ferri, O. M., Ebe. T. & Bormann, R. (2009). "High cycle fatigue behaviour of Ti–6Al–4V fabricated by metal injection moulding technology." *Materials Science and Engineering: A* 504.1-2: 107-113.

Fonseca, L. (2018). Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. *Proceedings of the 12th International Conference on Business Excellence 2018*, 386-379.

Freitas, M. (2018). Compete 2020 – Newsletter 148 - i-M2S 4.0-in-Mould Monitoring System 4.0. From http://www.poci-compete2020.pt/newsletter/detalhe/Proj24241_SFMOLDES, consultado em 19 de dezembro de 2018.

Fu, M. W., Fuh, J. Y. H. & Nee, A. Y.C. (2001) "Core and cavity generation method in injection mould design." *International Journal of Production Research* 39.1: 121-138.

Fujimoto, T. (1999). *The Evolution of a Manufacturing System at Toyota*. New York: Oxford University Press.

Gapp, R., Fisher, R. & Kobayashi, K. (2008). "Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system." *Management Decision*.

Gomes, A. (2012). Implementação de Metodologias Lean na TEGOPI-Indústria Metalomecânica, SA. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial e Gestão, apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Gonçalves, R. (2017). Aplicação dos princípios de Lean Manufacturing a uma empresa da indústria alimentar. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada ao Técnico de Lisboa.

Guariente, P., Antonioli, I., Ferreira L. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2017). "Implementing autonomous maintenance in an automotive componentes manufacturer," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1128-1134

Gupta, S., & Jain, S. K. (2014). The 5S and kaizen concept for overall improvement of the organisation: a case study. *International Journal of Lean Enterprise Research*, 1(1), 22-40.

Harada, J. (2004). *Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos*. Artliber.

Heckele, M. & Schomburg, W. K. (2003). "Review on micro molding of thermoplastic polymers." *Journal of Micromechanics and Microengineering* 14.3: R1.

Fundació ASCAMM (2001). *Introducción a la tecnologia de los moldes – Centre tecnològic*.

Jaruga, T. & Bociąga, E. (2007). "Structure of polypropylene parts from multicavity injection mould." *Archives of Materials Science and Engineering* 28.7: 429-432.

Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M., & del Mar Espinosa, M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. *Safety science*, 78, 163-172.

Ketan, H., & Yasir, F. (2015). Reducing of Manufacturing Lead Time by Implementation of Lean Manufacturing Principles. *Journal of Engineering*, 21(8), 83-99.

Lean Enterprise Institute (2019). A brief history of Lean. From: <https://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>, consultado em 24 novembro 2019.

Lee-Mortimer, A. (2008). A continuing lean journey: An electronic manufacturer's adopting of Kanban. *Assembly Automation*, 28(2), 103–112.

Lidomar (2012). Molde de três placas. From <http://injecoadetermoplastico.blogspot.pt/2012/07/molde-de-tres-placas.html>, consultado em 25 novembro 2019.

Liker, J. & Meier, D. (2007). *Toyota Talent*, New York: McGraw Hill.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way–14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York et al.

Lotti, R. S., Machado, A. W., Mazzeiro, Ê. T., & Landre Júnior, J. (2006). Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 11(2), 35-43.

Martin, T., & Bell, J. (2016). *New Horizons in Standardized Work: techniques for manufacturing and business process improvement*. CRC Press.

Marujo, M. Â. O., (2014). *Controlo de defeitos em termoplásticos obtidos por injeção*, Dissertação para a obtenção do grau de mestre, apresentada ao Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro.

Matos, H. (2016). *Análise Estrutural de um molde para Injeção de Componentes Plásticos*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto, apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

McKinsey, I. (2016). *4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it*. McKinsey Digital.

Melnyk, S. A., Calantone, R. J., Montabon, F. L., & Smith, R. T. (1998). Short-Term Action in Pursuit of Long-Term Improvements: Introducing Kaizen Events. *Production & Inventory Management Journal*, 39(4), 69.

Melton, T. (2005). "The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries." *Chemical engineering research and design* 83.6: 662-673.

Menezes, J. & Tocha, R. (2016). *Digitalização da Indústria: Uma visão da indústria 4.0 no cluster engineering & tooling*". *Revista de Cefamol – O Molde: Digitalização da Indústria*. Ano 27 04.2016, n.º 109, páginas 20-28.

Mojib, Z. S., Hashemi, A., Abdi, A. A., Shahpanah, A., & Rohani, J. M. (2014). *Lean Manufacturing Implementation Through Value Stream Mapping : A Case Study* . *Jurnal Teknologi Full paper Lean Manufacturing Implementation Through Value Stream Mapping : A*. *Jurnal Teknologi*, 3(eISSN 2180-3722), 119–124.

Moreira, M. (2015). *Projeto de molde para a injeção de peça plástica complexa para a indústria automóvel*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Moubray, J. (1997), *Reliability-centered maintenance*. ISBN: 9780831131463.

Mota, R. (2017). *Assegurar a Preparação de Máquinas e Moldes para Processos de Alta Qualidade*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders L., & Martin H., (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators", *International Journal of Production Economics*, vol. 131, no. 1, pp. 295-302.

Neto, A. R. (2001). Proposta de Procedimento para o Dimensionamento Mecânico de Moldes de Injeção. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Neves, P., et al. (2018). "Implementing lean tools in the manufacturing process of trimmings products." *Procedia Manufacturing* 17: 696-704.

Ogorodnyk, O., & Martinsen. K. (2018). "Monitoring and control for thermoplastics injection molding a review." *Procedia Cirp* 67: 380-385.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.

Oliveira, M., Moreira H., Alves A.C., & Ferreira L. P. (2019). "Using Lean Thinking Principles to Reduce Wastes in Reconfiguration of Car Radio Final Assembly Lines." *Procedia Manufacturing - 8th Manufacturing Engineering Society International Conference*

Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. New York: CRC Press.

Pena, R. (2019). Análise e melhoria dos processos de produção de uma empresa do setor da mobilidade. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable Standardized Work in a Lean Company - A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 239–244.

Pinto, J. (2008). *Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro*. Comunidade Lean Thinking. 159

Pinto, J. (2009). *Pensamento Lean. A filosofia das organizações vencedoras*. Lisboa: LIDEL - Edições técnicas, Lda.

Pousa, C. (2008). Desenvolvimento de Modelos Simplificados de Análise do Ciclo de Vida de Moldes de Injecção de Plástico. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

- Pye, R. G. W. (1989). "Injection Mould Design." Longman Group UK Limited: 754.
- Rohani, J. M., & Zahraee, S. M. (2015). Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry. *Procedia Manufacturing*, 2, 6–10.
- Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. D. S. G. (2017). "SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry." *Procedia Manufacturing* 13: 1034-1042.
- Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., & Gouveia, R. (2018). Establishing Standard Methodologies To Improve The Production Rate Of Assembly Lines Used For Low Added-Value Products. *Procedia Manufacturing*, 17, 555–562.
- Rosa, C., Silva F. J. G. & Ferreira, L. P. (2017). "Improving the quality and productivity of steel wire-rope assembly lines for the automotive industry." *Procedia Manufacturing* 11: 1035-1042.
- Rosato, D. V. (2000). *Injection Molding Handbook* (3ª ed.). Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Rausand, M. (1998). Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 60(2), 121–132.
- Salgado, P., & Varela, L. (2010). Kanban Sharing and Optimization in Bosch Production System. *KMIS*, 81–91
- Saraiva, P. (2016). Projeto de um molde de injeção. Dissertação de Estágio para obtenção de Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto, apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.
- Schneider Form (2016). Website oficial Schneider Form. From <http://www.schneider-form.de/en.html>, consultado em 2 dezembro 2019.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge: Productivity Press.
- Silva, A. (2018). Análise e melhoria dos processos de produção de uma empresa do setor da ourivesaria. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Silva, F. & Ferreira, L. (2019). *Lean Manufacturing: Implementation, Opportunities and Challenges* (pp. 1-478). Nova Science Publishers.

Silva, S. (2015). Sistematização de Metodologias de Projeto e Fabrico de Moldes de Injeção de Peças para a Indústria Aeronáutica. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Şimşir, M.t, Levent Cenk Kumruoğlu, L. C. & Özer, A. (2009). "An investigation into stainless-steel/structural-alloy-steel bimetal produced by shell mould casting." *Materials & Design* 30.2: 264-270.

Smith, W.F. (1998). *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*. McGraw-HillPortugal, 3ª edição, Lisboa.

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *The international journal of production research*, 15(6), 553-564.

Sunder M. V. (2016). "Lean six sigma project management—a stakeholder management perspective." *The TQM Journal* 28.1: 132-150.

Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885.

Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582.

Suzaki, K. (2013). *Gestão no Chão de Fábrica - LEAN - Sustentando a Melhoria contínua todos os dias*, 1ª ed., LeanOp.

Tang, S. H. et al. (2007). "The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage." *Journal of Materials Processing Technology* 182.1-3: 418-426.

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, 118, 1295-1303.

Tsoi, H.-P. & Gao, F (1999). "Control of injection velocity using a fuzzy logic rule-based controller for thermoplastics injection molding." *Polymer Engineering & Science* 39.1: 3-17.

Ventura, J. A. (2016). Estágio em sistemas de canais quentes. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Projeto e Produção Mecânica, apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar.

Werkema, M. C. C. (2006). Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking by Womack and Jones. Review Literature and Arts of The Americas, 5.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated. Second Edition. London: Touchstone books.

Wu C. Z., Lu, S. S., Zhang, F. Y. (2017). "Design the control system circuit of vacuum type injection machine." 2017 8th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT). IEEE.

Wulff, A. (2014). Application of Lean Methodologies in the Improvement of an Automotive Supplier's Operation. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Gestão Industrial, apresentado ao Técnico de Lisboa.

