



DESENVOLVIMENTO DE NOVO CONCEITO DE BOMBA DE ZAMAK PARA MELHORIA DA FORMAÇÃO DE GITO DEVIDO À INCLINAÇÃO ATUAL DA BOMBA.

PEDRO DE AZEREDO LEITÃO

outubro de 2023

DESENVOLVIMENTO DE NOVO CONCEITO DE BOMBA DE ZAMAK PARA MELHORIA DA FORMAÇÃO DE GITO DEVIDO À INCLINAÇÃO ATUAL DA BOMBA

Pedro de Azeredo Leitão

2022/2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor Francisco José Gomes da Silva

Coorientador: Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho.

isen

P.PORTO

DESENVOLVIMENTO DE NOVO CONCEITO DE BOMBA DE ZAMAK PARA MELHORIA DA FORMAÇÃO DE GITO DEVIDO À INCLINAÇÃO ATUAL DA BOMBA.

Pedro de Azeredo Leitão

1171129

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Doutor Francisco José Gomes da Silva e coorientação de Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

Presidente

Doutora Isabel Cristina Silva Barros Rodrigues Mendes Pinto

Professor Adjunto, ISEP

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, ISEP

Arguente

Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Associado, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Queria começar por agradecer às pessoas que tornaram este trabalho possível, o meu orientador Doutor Francisco José Gomes da Silva e coorientador Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, por toda a ajuda e conselhos que me deram ao longo do ano letivo.

À empresa Ficocables, nomeadamente ao Engenheiro Mário Cardoso por toda a partilha de conhecimento e oportunidades que me ofereceu, ao Bruno Pinheiro e à Carina Vale, por me terem acolhido e me ajudarem sempre que precisei, e ao Olindo Soares e Konstantin Shalaev pela paciência que tiveram e ajuda que me deram, em ver as soluções criadas do ponto de vista do utilizador, resultando em soluções mais eficazes.

Por fim, queria agradecer à minha família e amigos. Ao meu Pai e à minha Mãe que me têm apoiado e ajudado em todas as fases da minha vida, ao meu irmão pelo companheirismo e pelos incentivos que me foi dando ao longo dos períodos mais difíceis. E a todos os meus amigos, que estão sempre disponíveis seja para o que for.

A todos mencionados, um grande obrigado.

RESUMO

A indústria automóvel é uma das mais competitivas no mercado mundial. Isto obriga as empresas deste sector a uma constante necessidade de inovar e adotar novas tecnologias de forma a conseguirem aumentar a sua produtividade. Existe por parte do consumidor final uma grande pressão para produzir mais rápido e mais barato. Posto isto, é importante que a qualidade dos produtos não decresça, pois isso leva à insatisfação do cliente, diminuindo as vendas, que por sua vez diminui a quota de mercado da empresa.

O presente trabalho foi realizado no âmbito de estágio curricular na empresa Ficocables Lda. e teve como foco a melhoria do processo de fundição injetada a câmara quente de Zamak, nomeadamente dos componentes de injeção. O problema que se visa resolver é provocado pela configuração atual do sistema de injeção da máquina de Zamak utilizada. Devido a algumas ineficiências no processo, ocorre uma contra saída no gito da peça injetada. Isto provoca dificuldades na extração da peça do respetivo molde. A consequência mais preocupante neste momento, no ambiente empresarial, é a diminuição da Eficácia geral da máquina (OEE), devido às paragens causadas por falhas de injeção, ou à necessidade de remoção manual do gito preso no molde. Ambos os problemas estão associados à contra saída.

Deste modo, dando uso à metodologia *Design Science Research (DSR)*, foi realizado um estudo no qual se explorou diversas possibilidades como a alteração do ângulo de admissão do Zamak na moldação, na qual se realizaram ensaios com um conceito de bico diferente. Foi também efetuado um estudo dos parâmetros de injeção das máquinas, a sua influência na contra saída do gito e a possibilidade de utilizar outras famílias de matérias e revestimentos, para além do aço, no fabrico dos componentes de injeção. Por fim, foi criado um modelo de simulação térmica com os principais elementos do sistema de injeção. Deste modo, foi possível realizar as alterações necessárias, de modo a eliminar as ineficiências térmicas do sistema. O novo conceito foi implementado na fábrica e os resultados observados foram validados, resultando numa diminuição de intervenções não planeadas na máquina.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria Automóvel; Cabos de controlo; Zamak; Injeção; Fundição, Contra saída, Gito.

ABSTRACT

The automotive industry is one of the most competitive in the world market. This forces companies in this sector to constantly need to innovate and adopt new technologies to increase their productivity. There is great pressure from the end consumer to produce faster and cheaper. Therefore, it is important that the quality of products does not decline, as this leads to customer dissatisfaction, reducing sales, which in turn reduces market share.

The present work was carried out as part of a curricular internship at the company Ficocables Lda. and focused on improving the Zamak hot chamber injection molding process, particularly the injection components. The problem this work aims to solve is caused by the current configuration of the injection system of the Zamak machine used. Due to some inefficiencies in the process, there is a backflow in the sprue of the injected part, which causes difficulties in extracting the part from the respective mold. The most worrying consequence at this moment, in the business environment, is the decrease in the Overall Equipment Effectiveness (OEE), due to stoppages caused by injection failures or the need to manually remove the sprue stuck in the mold. Both problems are associated with the counter exit.

In this way, using the Design Science Research (DSR) methodology, a study was carried out in which several possibilities were explored by changing the Zamak admission angle in the mold in which tests were carried out with a different nozzle concept. A study was also carried out on the injection parameters of the machines, their influence on the sprue backflow, and the possibility of using other families of materials and coatings in addition to steel in the manufacture of injection components. Finally, a thermal simulation model was created with the main elements of the injection system, with which it was possible to make the necessary changes to eliminate the system's thermal inefficiencies. The new concept was implemented in the factory and the results observed were validated, resulting in a reduction in unplanned interventions on the machine.

KEYWORDS

Automobile industry; Control cables; Zamak; Injection; Foundry, Counter exit, Sprue.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contextualização	15
1.2. Objetivos	15
1.3. Metodologia	16
1.4. Estrutura	16
1.5. Empresa de acolhimento	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Indústria automóvel	19
2.1.1. Importância da indústria automóvel na economia mundial	19
2.1.2. Importância da indústria automóvel na economia portuguesa	19
2.1.3. Produção de componentes em Portugal	20
2.1.4. Pilares da indústria	21
2.1.5. Cabos de Controlo (<i>Bowden cables</i>)	22
2.2. Projeto de equipamentos	23
2.2.1. Seleção de Materiais e Processos de Fabrico	23
2.2.2. Ferramentas de Projeto Assistido por Computador (CAD/CAE)	30
2.2.3. Recentes avanços na melhoria e automatização de processos	31
2.3. Fundição	32
2.3.1. Fundição injetada	32
2.3.2. Ligas de Zinco	35
2.3.3. Recentes avanços na fundição injetada de Zamak	36
3. DESENVOLVIMENTO	41
3.1. Caracterização da Empresa	41
3.2. Caracterização da máquina de injeção de Zamak	42
3.3. Caracterização do Problema	46
3.4. Principais Requisitos impostos	47
3.5. Estudos Preliminares	48
3.6. Estudo e Implementação de um novo sistema	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Apresentação de Resultados	59
4.2. Discussão de Resultados	65
4.3. Trabalhos Futuros	67
5. TRABALHOS ADICIONAIS	Erro! Marcador não definido.

6. CONCLUSÃO	69
6.1. Conclusões finais	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A	75
APÊNDICE B	80
APÊNDICE C	83
ANEXO A	85

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fabricantes automóveis em Portugal [6]	20
Figura 2 - Localização da Indústria de componentes em Portugal [8]	21
Figura 3 - Componentes de um cabo de controlo [11]	23
Figura 4 - Diagrama de Ashby Densidade/ Módulo de elasticidade [15].....	26
Figura 5 – Exemplo de matriz PRIMA [16].....	29
Figura 6 - Fluxograma da utilização de assistência computacional na manufatura [18]	30
Figura 7 - Etapas do ciclo de injeção de câmara fria [36].....	34
Figura 8 - Máquina de injeção de câmara quente [36]	35
Figura 9 - Vista aérea da fábrica Ficocables.	42
Figura 10 - Máquina de injeção de Zamak	42
Figura 11 - Cadinho: 1-Boia; 2-Sonda; 3-Bomba, ponteira e bico; 4-Cadinho	43
Figura 12 - a) Bomba de injeção em CAD, b) bomba de injeção para recondicionar.	44
Figura 13 - Estrutura danificada devido ao impacto.	44
Figura 14 - a) Bico encostado b) bico do sistema rotativo.....	45
Figura 15 - a) Conjunto bomba ponteira; b) conjunto ponteira resistência.	45
Figura 16 - a) Estrutura superior; b) Estrutura inferior; c) Moldes	46
Figura 17 - Conjunto estrutura inferior bico com a zona problemática do gito assinalada a vermelho.	47
Figura 18 - a) Ideia de bomba 1; b) Ideia de bomba 2	48
Figura 19 - a) Ideia de Ponteira 1; b) Ideias de Ponteira 2.....	49
Figura 20 - a) Bico de injeção; b) Montagem do sistema.....	49
Figura 21 - Bico após ensaio.....	51
Figura 22- Gito preso no molde devido à contra saída.	51
Figura 23- a) Gito não conforme com contra saída; b) Gito conforme; C) Gito não conforme com vazios.....	51
Figura 24 - Montagem dos componentes utilizados no estudo.....	55
Figura 25 - a) Vista da malha nos sólidos; b) Vista em corte da malha.....	57
Figura 26 – Pontos de medição realizados no bico para tirar valores da temperatura.	59
Figura 27 - Distribuição de temperaturas no sistema.....	60
Figura 28 - Bico utilizado na 2ªSimulação	61
Figura 29 - a) Zona de encosto original; b) Zona de encosto com estrutura reificada.	62
Figura 30 - a) Estrutura inferior final; b) Bico final.....	63

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estudo sobre os avanços na melhoria e automatização de processos	31
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da fundição injetada [31],[32]	33
Tabela 3 - Produção de zinco em Portugal em toneladas [39]	35
Tabela 4 - Estudo sobre a fundição injetada de Zamak	37
Tabela 5 - Parâmetros da máquina utilizados no ensaio	50
Tabela 6 - Identificação das máquinas o seu conceito de funcionamento e o gito correspondente.	52
Tabela 7 - Parâmetros recolhidos da máquina 5 e classificação dos respetivos gitos.	53
Tabela 8 - Definições utilizadas para a Global mesh.	56
Tabela 9 - Definições utilizadas para a Local mesh 1.	56
Tabela 10 - Características dos componentes utilizados (incluir referencias).	57
Tabela 11 - Resultados da 1ª Simulação.	60
Tabela 12 - Resultados da 2ª simulação.	61
Tabela 13 - Resultados da 3ª simulação.	62
Tabela 14 - Resultados da 4ª simulação.	63
Tabela 15 - Resultados da 5ª e 6ª simulação.	64
Tabela 16 - Parâmetros inalterados na máquina.	65
Tabela 17 - Temperatura da resistência antes e depois da implementação do novo conceito.	65
Tabela 18 - Comparação das temperaturas reais com as da simulação.	66

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

3D	3 Dimensões
AIISI	American Iron and Steel Institute
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia Assistida por Computador
CAM	Fabrico Assistido por Computador
CEE	Comunidade Económica Europeia
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DSR	<i>Design Science Research</i>
IA	Indústria Automóvel
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MEF	Método de Elementos Finitos
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficácia Geral da Máquina)
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PIB	Produto Interno Bruto
PRIMA	<i>Process Information Maps</i>

Lista de Unidades

%	Porcentagem
°C	Graus Celcius
K	Kelvin
bar	Bar
MPa	Mega Pascal
°	Grau
W/mk	Watt por Metro Kelvin
kW/m²K	Kilo Watt por Metro quadrado Kelvin
m²K/W	Metro quadrado Kelvin por Watt
€	Euro

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste breve capítulo faz-se a contextualização do tema a abordar; os objetivos a cumprir; e a metodologia utilizada no desenvolvimento da dissertação; descreve-se também a estrutura do trabalho e empresa de acolhimento.

1.1. Contextualização

A indústria automóvel (IA) é uma das mais competitivas no mercado mundial, isto obriga as empresas deste sector a uma constante necessidade de inovar e adotar novas tecnologias, de forma a conseguirem aumentar a sua produtividade. Existe por parte do consumidor final uma grande pressão para produzir mais rápido e a custo mais baixo. Posto isto, é importante que a qualidade dos produtos não decresça, pois isso leva à insatisfação do cliente diminuindo as vendas, que por sua vez diminui a quota de mercado da empresa.

A Ficocables, empresa onde foi realizado o estágio, tem como principal volume de negócio o fabrico de cabos de controlo. Estes cabos têm como função a transmissão de movimento de um mecanismo para outro. Nas suas extremidades, para permitir a fixação do cabo, existem terminais em Zamak. O Zamak é uma liga de zinco, que através do processo de fundição de injeção sob pressão em câmara quente, é injetado no molde, produzindo assim o terminal do cabo de controlo.

Ao longo dos anos, a tecnologia de injeção de Zamak na empresa tem vindo a ser desenvolvida, no entanto, esta ainda apresenta alguns problemas, sendo um deles o foco desta dissertação. O problema que se visa resolver é provocado pela configuração atual do sistema de injeção da máquina de Zamak, que dá origem a uma contra saída no gito da peça injetada. Isto provoca dificuldades na extração da peça do respetivo molde. A consequência mais preocupante neste momento, no ambiente empresarial, é a diminuição da Eficácia geral da máquina (OEE) devido às paragens causadas por falhas de injeção, ou à necessidade de remoção manual do gito preso no molde. Ambos os problemas estão associados à contra saída.

1.2. Objetivos

Como já referido, a configuração atual do gito dificulta a sua extração do molde. Com este trabalho, pretendeu-se eliminar as dificuldades atuais, aumentando assim a produtividade dos equipamentos. Para tal objetivo ser alcançado, foram estudadas diversas abordagens, desde alterações geométricas e materiais, a controlo de parâmetros de injeção, mantendo como prioridade a qualidade das peças produzidas. Também foi tido em consideração que qualquer mudança desnecessária no projeto causaria custos acrescidos, uma vez que a empresa em questão possui cerca de 60 máquinas desta natureza, e muitas alterações apresentariam um custo extremamente elevado, tornando a solução inviável. Deste modo, foi também tido como objetivo utilizar o máximo de elementos normalizados.

1.3. Metodologia

Na presente dissertação fez-se uso da abordagem DSR (*Design Science Research*). Esta metodologia é, por norma, descrita em seis etapas de seguida apresentadas: Identificação do problema, definição dos objetivos, *design* e desenvolvimento, demonstração da solução, avaliação da solução e conclusões. Posto isto, é possível entender que para a utilização da metodologia DSR é necessário estudar detalhadamente o processo em questão, para mais tarde poder apresentar novas soluções, de modo a cumprir os objetivos. Contudo, esta abordagem tem as suas limitações: o estudo detalhado, e a possibilidade de apresentar diversas soluções, podem levar ao aumento do tempo de projeto [1].

Adaptando a metodologia DSR ao presente trabalho, foram definidas as seguintes etapas:

- Identificação do problema;
- Tempestade de ideias;
- Solução de ideias para implementação;
- Estudo das soluções/ Projeto;
- Análise crítica da solução adotada;
- Implementação;
- Análise crítica e possíveis melhorias.

1.4. Estrutura

A dissertação que se segue está estruturada da seguinte forma: no primeiro capítulo, introdução, é dado a conhecer os objetivos e metodologia utilizada para os alcançar, é também realizada uma breve contextualização de modo a introduzir os temas a desenvolver. Depois deste, na revisão bibliográfica, foram aprofundados temas de relevância para o trabalho, com o intuito de dar a conhecer os conceitos necessários. Dividiu-se este capítulo em três subcapítulos: indústria automóvel; projeto de equipamentos e, por último, fundição.

No subcapítulo 2.1 são abordados os impactos económicos da indústria automóvel, tanto em Portugal como a nível mundial, e os pilares da mesma. São também analisados os impactos da indústria de componentes em Portugal. Por fim, são ainda abordados os cabos de controlo, descrevendo o seu funcionamento e os seus constituintes

Avançando para o subcapítulo 2.2, faz-se a análise de projeto de equipamentos, desde a seleção de materiais e processos de fabrico, ao uso de software de projeto assistido por computador.

Por fim, no subcapítulo 2.3 é descrito o processo de fundição injetada, bem como algumas das vantagens e desvantagens do mesmo. Faz-se também uma análise das ligas de zinco, incluindo as suas propriedades e constituição.

O capítulo 3, intitulado de desenvolvimento, divide-se em seis subcapítulos. No subcapítulo 3.1 é efetuada uma breve introdução da história da empresa, onde foi realizado o estágio que deu origem à dissertação. Passando para o subcapítulo 0, são descritos os componentes da máquina de injeção de Zamak mais relevantes para o estudo do sistema de injeção, nomeadamente: o cadinho; a

bomba de injeção; o bico e a ponteira e, por fim, a moldação, estrutura e molde. A caracterização do problema verificado, e que se pretende resolver, é realizada no subcapítulo 3.2. No subcapítulo 3.3, são enumerados os principais requisitos impostos para resolver o problema, sendo estes divididos em requisitos impostos pela empresa e pelo próprio processo de fabrico. Após terem sido impostos os requisitos, no subcapítulo 3.4 estudou-se possíveis soluções para o problema. Por fim, no subcapítulo 3.5, implementação de um novo sistema, desenvolveu-se um modelo de simulação teórico com o intuito de projetar um sistema de injeção melhorado termicamente, e deste modo reduzir os custos de prototipagem.

No Capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos anteriormente, subcapítulos 4.1 e 4.2, respetivamente. Nestes, é feita uma comparação entre os diferentes resultados. É também apresentado o impacto da solução implementada na empresa.

Por fim, no capítulo 5, é efetuado um resumo de toda a dissertação, retirando as conclusões de cada uma das componentes da mesma.

1.5. Empresa de acolhimento

A presente dissertação foi desenvolvida na empresa Ficocables Lda. localizada na Rua do Cavaco, 115, Maia, em contexto de estágio curricular. O estágio de nove meses foi realizado no departamento de manutenção, com a supervisão do Engenheiro Mário Cardoso, diretor do departamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica vem dar a conhecer os conceitos relacionados com o trabalho desenvolvido. Vão ser abordados os seguintes tópicos: indústria automóvel (IA); projeto de equipamentos e fundição. No subcapítulo 2.1, aprofunda-se a temática da indústria automóvel, o seu impacto tanto na economia mundial como portuguesa, e a produção de componentes. De seguida, procede-se ao subcapítulo 2.2, onde são abordados os processos de seleção, tanto de materiais como de processos de fabrico, e a importância do projeto assistido por computadores no panorama das engenharias. Por fim, no subcapítulo 2.3, é introduzido o tema de fundição, com especial foco na fundição injetada, e as ligas de zinco vulgarmente utilizadas neste processo.

2.1. Indústria automóvel

2.1.1. Importância da indústria automóvel na economia mundial

No panorama industrial atual, é possível afirmar que a IA está na vanguarda em todos os sentidos. Devido à elevada competitividade neste sector, a IA encontra-se em constante desenvolvimento tecnológico. O automóvel remonta ao ano de 1886, quando Karl Bens patenteou o primeiro veículo [2]. Desde então, a inovação tecnológica impulsionada pela IA tem-se feito sentir em praticamente todos os sectores de manufatura.

Atualmente, os automóveis são fundamentais para a mobilidade, estando enraizados no dia a dia da população. Posto isto, é expectável que esta indústria tenha um grande volume de negócio. Analisando um carro, a título de exemplo, é possível observar que este tem uma enorme quantidade de componentes de diferentes materiais, desde têxteis a poliméricos. Assim, a IA não engloba apenas o fabrico de automóveis, mas também todo o fabrico de componentes, sendo esta fundamental para a economia mundial. Este fenómeno fez-se sentir durante a pandemia nos anos 2019 e 2020, cuja produção de veículos reduziu em 15,64 %. Em 2021, apesar de este valor não ter voltado à normalidade, subiu 3% face ao ano 2020 [3]. Atualmente, a nível europeu, a indústria automóvel emprega direta e indiretamente 13 milhões de pessoas, o que representa 7% das pessoas empregadas na união europeia [4].

2.1.2. Importância da indústria automóvel na economia portuguesa

Devido ao elevado número de importações de automóveis, o governo português decidiu, em 1959, tomar medidas. Desde então, a IA sofreu um grande desenvolvimento em Portugal, beneficiando das trocas de conhecimento com países mais desenvolvidos nesta área. A economia portuguesa tem vindo a beneficiar de investimento de outros países na IA. Neste momento, existem cinco fábricas de montagem de veículos em Portugal, sendo estas; Volkswagen-Autoeuropa; PSA Peugeot-Citroën; Mitsubishi Fuso Trucks; Toyota Caetano e Caetano Bus [5]. Na Figura 1 é possível localizar estas unidades de produção.



Figura 1 - Fabricantes automóveis em Portugal [6]

A indústria automóvel em Portugal traz inúmeros benefícios socioeconómicos. O setor automóvel tem a capacidade de arrastar outras indústrias que dependem da automóvel, ou seja, a economia portuguesa beneficia direta e indiretamente deste setor [7].

Em 2019, a IA em Portugal teve um volume de negócio de 15 900 milhões de euros em 2019, o que causou uma riqueza, direta e indireta de 6400 milhões de euros. Este valor representa aproximadamente 3% do produto interno bruto (PIB) nacional. Foram investidos cerca de 989 milhões de euros na indústria automóvel em Portugal. Isto teve um efeito mobilizador noutras economias. Posto isto, a indústria automóvel emprega mais de 90 000 portugueses [7]. Tendo em consideração os dados apresentados, é possível afirmar que o setor automóvel é um dos pilares da economia em Portugal.

2.1.3. Produção de componentes em Portugal

O fabrico de componentes para a IA tem um grande impacto na economia portuguesa. Este representa 0,9% das empresas de manufatura e conta com cerca de 353 empresas em novembro de 2022. Estas empresas localizam-se maioritariamente no norte e centro do país, como é possível observar na Figura 2. O setor de componentes emprega diretamente 62 000 pessoas. Destas, 57% são homens e as restantes mulheres. O crescimento exponencial da empregabilidade deste setor fez-se sentir desde 2015 até 2019, com 14 000 novos empregos. No entanto, este estabilizou desde 2020, tendo sofrido uma pequena descida, 0,01%, no último ano. Apesar de a empregabilidade ter estagnado, o volume de negócio deste setor cresceu em 8,7% face a 2020. De referir que 80% dos componentes produzidos são exportados, sendo que Espanha é o maior comprador dos mesmos [8].

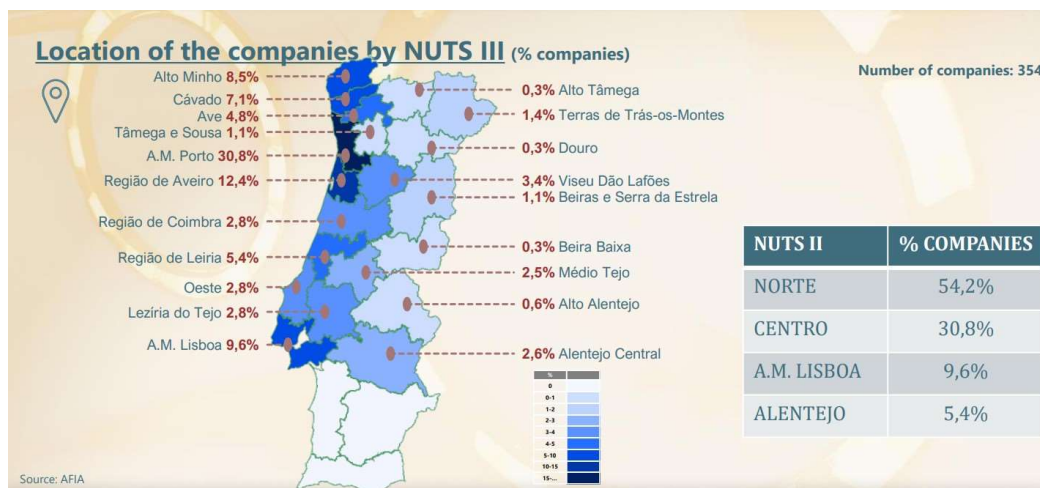


Figura 2 - Localização da Indústria de componentes em Portugal [8]

2.1.4. Pilares da indústria

Devido ao crescimento abrupto da IA no último século, os produtores tanto de automóveis como de componentes, foram colocados sobre grande pressão. Esta deve-se ao panorama atual do mercado, que exige a produção com levada qualidade, mas a preço reduzido. Assim, os produtores são forçados a otimizar continuamente, tanto o processo como o produto. Tendo estes fatores em consideração, conclui-se que existem três razões fundamentais nas quais assenta a IA [9]. Assim os pilares da IA são: competitividade; qualidade e flexibilidade.

Competitividade

É de elevada importância que as empresas deste setor se mantenham competitivas. Para tal, a inovação tem um impacto positivo. A inovação pode demonstrar-se de diversas formas, desde novos *designs* de produto a novas abordagens para a sua produção. Por norma, estas alterações ocorrem incrementalmente e podem partir de ideias já existentes. É esperado que uma empresa que procura ativamente inovar, consiga manter um fator qualidade/preço respeitável dentro da indústria, o que a torna mais competitiva [5]. De acordo com o modelo das cinco forças de Porter, existem cinco fatores que influenciam a competitividade de uma empresa. Estes fatores são os seguintes: novos concorrentes; ameaça de produto substituto; poder de negociação dos clientes; poder de negociação dos fornecedores e, por último, rivalidade existente na indústria.

Qualidade

O setor automóvel está permanente sob pressão relativamente à qualidade de produção. A pressão sentida pelos fabricantes, advém da qualidade exigida por: clientes; normas de segurança; e requisitos ambientais. De modo a garantir a qualidade do produto, é fundamental que exista um controlo rigoroso de início ao fim do processo, pois a falta de qualidade pode advir de qualquer etapa da produção, desde a matéria-prima ao processo de fabrico. Atualmente existem certificações de qualidade que as empresas podem obter. Estas são importantes, pois dão a confiança necessária ao cliente de que a qualidade do produto é assegurada. Uma empresa com credibilidade é mais provável que seja bem-sucedida [9].

Flexibilidade

A indústria automóvel depende de produção em elevada escala para conseguir baixar o custo da produção de produtos de alta qualidade. Ao oferecer flexibilidade de produção ao cliente, a empresa aumenta a sua participação no mercado, aumentando também o volume de vendas. No entanto, o aumento da variedade de produtos produzidos pode causar a redução de desempenho, o que potencialmente provoca impactos negativos nos custos do produto. Posto isto, é fundamental que exista equilíbrio nestes fatores [10].

2.1.5. Cabos de Controlo (*Bowden cables*)

Qualquer que seja o mecanismo, este necessita de sistemas de comando mecânico. É então de esperar que exista acoplamentos responsáveis pela transmissão de movimento. Existem inúmeros métodos para transmitir movimento, alguns dos mais conhecidos são: veios; engrenagens; tirantes; cabos de controlo, entre outros [11]. O presente subcapítulo foca-se nos cabos de controlo.

Como já referido, os cabos de controlo são um sistema de transmissão de movimento. Esta transmissão dá-se entre o sistema atuador, onde é aplicada a força, e o sistema recetor, que recebe a mesma força, deduzida de eventuais perdas. Os cabos de controlo são elementos bastante versáteis, pois possibilitam *layouts* de montagem variados, ou seja, permitem fazer a transmissão do movimento em trajetórias não retilíneas. O seu funcionamento pode dar-se das seguintes formas [5].

- **Sistema Pull:** Neste, o funcionamento do cabo dá-se apenas à tração, possuindo uma mola de retorno que permite que o mecanismo regresse à posição inicial. Por norma, estes são constituídos por cabos flexíveis.
- **Sistema Push-Pull:** O sistema *push-pull* permite que o cabo funcione tanto à tração como à compressão. Para que isto seja possível, o cabo é composto por um núcleo sólido.

Nos automóveis, estes cabos são utilizados em inúmeras aplicações como: abertura de janela, portas, malas e capôs; ajuste dos bancos; acionamento de travões e embraiagem, entre outros. Analisando as diferentes aplicações destes mecanismos, torna-se possível verificar que cada uma das aplicações tem requisitos diferentes. No entanto, os componentes principais passam sempre pelos mesmos: cabo de aço; espiral e terminais.

- **Cabo de aço:** Tem como função a transmissão de movimento do sistema atuador ao sistema recetor.
- **Espiral:** A espiral, como o próprio nome indica, é uma espiral em aço que tem como objetivo guiar o cabo, que se movimenta no seu interior, bem como protegê-lo do exterior.
- **Terminal:** O terminal é responsável pelo acoplamento entre o cabo e o respetivo sistema. No caso aplicado deste trabalho, os terminais são injetados em Zamak.

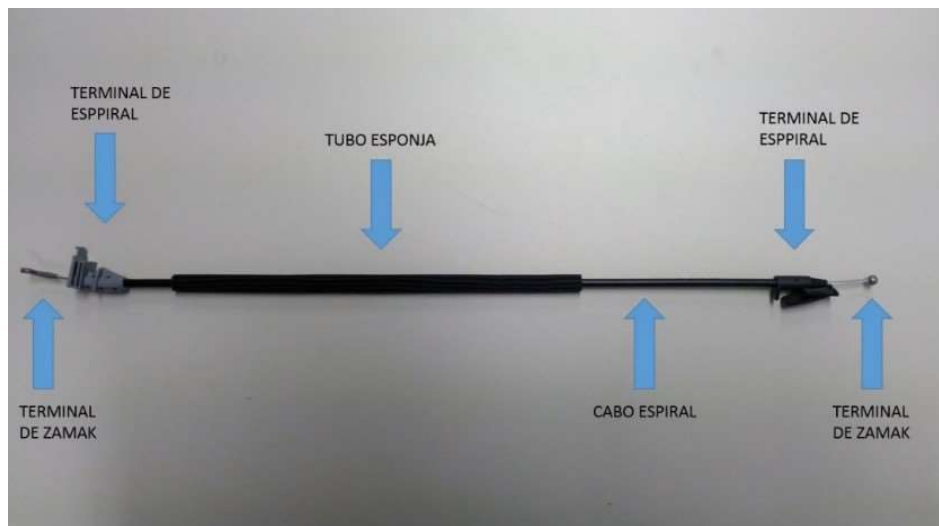


Figura 3 - Componentes de um cabo de controlo [11]

2.2. Projeto de equipamentos

Um projeto é o processo iterativo que pretende transformar uma ideia ou uma necessidade do mercado em informação detalhada que permita o seu fabrico. Este começa por desenvolver conceitos que sejam capazes de preencher os requisitos de funcionamento. De seguida, é realizada uma análise detalhada de cada um dos conceitos que aparentam ser mais promissores. Esta análise passa por: dimensionar; seleccionar os materiais e verificar qual dos conceitos desempenha adequadamente as suas funções nas condições pretendidas. Com isto, torna-se possível fazer uma ponderação entre o desempenho e o custo e, por fim, seleccionar o conceito que mais se adequa à finalidade pretendida [12].

Existem diferentes tipos de projetos: projetos originais, projetos de desenvolvimento e projetos de variação. Os projetos originais desenvolvem uma ideia ou princípio de funcionamento novo; projetos de desenvolvimento fazem uso de conceitos existentes e procuram melhorar o seu desempenho; e projetos de variação utilizam um conceito existente sem alterar o seu princípio de funcionamento, mas alteram a sua dimensão como, por exemplo, as caldeiras que existem de diversas dimensões e para diferentes pressões, mas o princípio de funcionamento permanece o mesmo [12].

2.2.1. Seleção de Materiais e Processos de Fabrico

É essencial que a seleção de materiais e processos de fabrico seja realizada no início do projeto, e que estes sejam classificados de modo a obter a combinação material/processo mais vantajosa. No entanto, esta análise é muitas vezes esquecida, ou até mesmo ignorada. Ao realizar um projeto, existe a tendência para escolher processos e materiais com os quais se está familiarizado. Isto retira a oportunidade para inovação. Este fenómeno torna-se mais evidente em projetos nos quais as pessoas envolvidas têm mais anos de experiência na área [12],[13]. Posto isto, estima-se que 30% do trabalho envolvido no desenvolvimento do produto é desperdiçado em correções, realçando a

importância de efetuar o projeto de forma cuidada, de modo que os problemas apareçam no início do projeto, e não em etapas posteriores, quando estes são mais difíceis e caros de corrigir [14].

Seleção de materiais

Nos últimos anos, a evolução dos materiais tem sido mais rápida do que nunca. Devido a esta evolução, os engenheiros, atualmente, têm ao seu dispor materiais com um grande leque de propriedades. Existem seis grandes grupos de materiais [12]:

- **Metais:** Ao analisar a tabela periódica, é possível concluir que grande parte dos seus constituintes são, de facto, metais. Estes possuem eletrões livres, tornando-os bons condutores elétricos. Quanto à sua aparência, os metais são opacos e refletem a luz. São maioritariamente utilizados na forma de ligas, com o intuito de melhorar as suas propriedades. A utilização de metais em projetos de engenharia é bastante vulgar devido às suas boas propriedades mecânicas. No entanto, a sua elevada massa volúmica pode tornar-se um obstáculo. Devido a serem materiais dúcteis, é possível a utilização de processos de fabrico como a extrusão e o forjamento. Um dos grandes problemas que estes materiais apresentam é que não são quimicamente estáveis, o que os torna altamente suscetíveis a sofrer oxidação.
- **Cerâmicos:** São compostos inorgânicos cristalinos, formados por reação química de sinterização. São dos materiais com maior durabilidade, em particular a altas temperaturas, o que os torna de elevado interesse nos dias de hoje. Estes materiais apresentam elevada dureza e baixo coeficiente de expansão térmica. No entanto, apresentam comportamento frágil. Ao optar por este material num projeto, é preciso ter em conta que: este apenas apresenta boa resistência à compressão; tem baixa resistência ao impacto, e variações térmicas elevadas podem causar a falha do produto, devido ao seu baixo coeficiente de expansão térmica, que torna o material incapaz de aliviar tensões por deformação.
- **Vidros:** O vidro é uma mistura de óxidos, nomeadamente de sílica. A formação do vidro passa pela fundição destes óxidos que, ao arrefecerem, não sofrem cristalização. No seu estado puro, o vidro é transparente. No entanto, é possível conferir cores ao mesmo através da adição de óxidos metálicos. O vidro pode ser conformado através de diversos processos, como é o caso da moldação. Este funciona como isolante elétrico e térmico, e a suas propriedades são isotrópicas.
- **Polímeros:** Os materiais desta família são constituídos por macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais, e a ligação entre os seus átomos é covalente. Por norma, são materiais de baixa densidade, quando comparados com os metais, são bons isolantes térmicos e elétricos, são flexíveis, e têm boa resistência à corrosão. No entanto, têm fraca resistência ao calor. O módulo de elasticidade destes materiais é cerca de 50 vezes menor do que o dos metais. De notar que as suas propriedades estão altamente dependentes da temperatura: a baixas temperaturas, estes apresentam um comportamento frágil, e a altas temperaturas, são maleáveis.
- **Elastómeros:** Os elastómeros são da família dos polímeros, mas devido às suas particularidades, foram aqui distinguidos. Estes têm módulo de elasticidade cerca de 500 a 5000 vezes mais baixo que o dos metais. Alguns elastómeros têm a capacidade de se deformar elasticamente para comprimentos algumas vezes superiores ao comprimento

inicial. Apesar do baixo módulo de elasticidade, estes materiais podem ser resistentes, como é o caso dos pneus.

- **Compósitos:** São combinações de dois ou mais materiais, de modo a tirar partido dos pontos fortes de cada um destes. Posto isto, as propriedades destes materiais variam consideravelmente, dependendo dos materiais utilizados.

No início do projeto, devem ser tidos em consideração todos os materiais. Com o desenvolver do projeto, o critério de seleção de materiais vai reduzir as opções. Consoante a lista de materiais diminui, estes devem ser analisados cuidadosamente, de modo a tornar possível a escolha do material mais adequado. De notar que a escolha do material está em grande parte relacionada com o processo de fabrico e a geometria da peça [12]. A correta seleção do material tem grande influência na qualidade do produto final, tornando esta etapa do projeto fundamental. Com isto, foram criadas metodologias de apoio à decisão na seleção de materiais. Um dos grandes impulsionadores desta temática é Michael F. Ashby, que criou uma metodologia de seleção de materiais através de diagramas onde todas as famílias de materiais são comparadas entre si, através de um determinado conjunto de propriedades. Estas propriedades inserem-se em três grandes grupos: propriedades mecânicas; propriedades físicas e químicas, e propriedades tecnológicas. As propriedades mecânicas dizem respeito à capacidade de o material resistir a uma determinada solicitação mecânica. As propriedades físicas e químicas, referem-se a características relacionadas com a natureza do material, como por exemplo a densidade e condutividade térmica. Por fim, as propriedades tecnológicas estão relacionadas com a capacidade de utilizar diversos processos de fabrico. Um exemplo disto é a fundição. Os materiais utilizados neste processo de fabrico necessitam de ter uma boa fusibilidade. Já conhecendo as diferentes famílias de materiais e propriedades, passa-se a explicar os diagramas de Ashby.

Como já foi mencionado, os diagramas de Ashby relacionam os diferentes materiais das diferentes famílias com um conjunto de propriedades. É possível observar um destes diagramas na Figura 4. Nos eixos destes, são representadas propriedades, seguindo, por norma, uma escala logarítmica. Em função destas propriedades, os materiais são posicionados no diagrama. Tendo em conta que os materiais da mesma família possuem propriedades semelhantes, estes vão ficar agrupados formando uma zona no gráfico. É possível observar tal fenómeno na Figura 4. Estes diagramas também permitem que sejam traçadas linhas representantes de parâmetros calculados a partir das propriedades já representadas no diagrama. Estes diagramas são de elevada utilidade, pois

agregam todos os materiais em função das propriedades pretendidas, de forma organizada e concisa, possibilitando a rápida consulta dos mesmos [12].

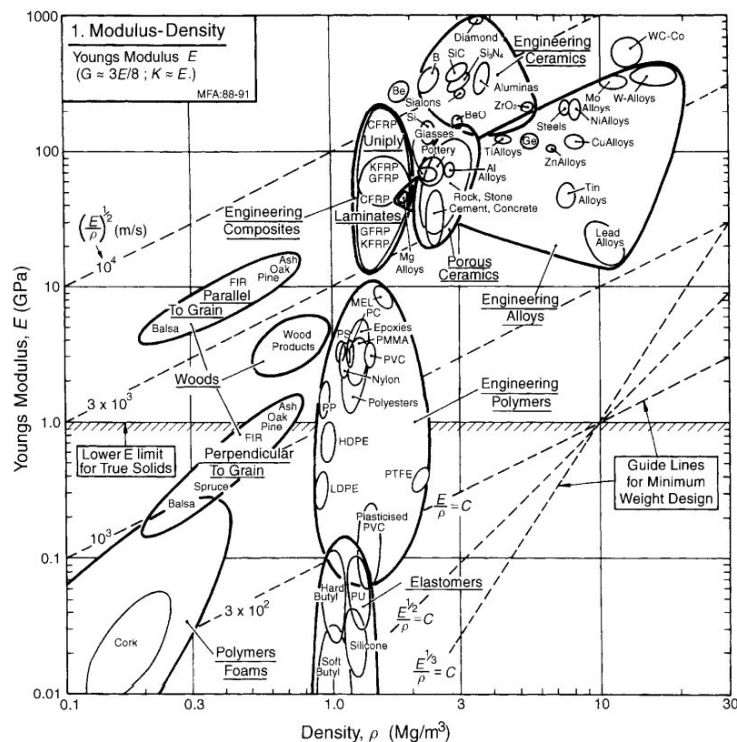


Figura 4 - Diagrama de Ashby Densidade/ Módulo de elasticidade [15]

Processos de fabrico

Existem inúmeros processos de fabrico, cada um com as suas particularidades, vantagens e desvantagens. À semelhança dos materiais, é bastante importante estudar os processos de fabrico a utilizar no início do projeto, pois estes podem ter grande impacto na qualidade e custos da peça. Deste modo, existem alguns fatores que devem ser definidos à partida, de modo a facilitar a seleção do processo de fabrico mais indicado. Estes fatores podem ter diversas origens: desde requisitos da peça, sejam estes dimensionais ou de propriedades conferidas por um determinado processo; podem também estar relacionados com o nível de destreza do operador, ou a necessidade de adquirir equipamentos para realizar o processo definido, e se a aquisição de tal equipamento é economicamente viável; também é importante ter em consideração o número de peças a produzir e o tempo de fabrico. Os processos de fabrico podem ser divididos em três etapas: processos de conformação primários; processos secundários; e montagem, ou processo de ensaio [16].

Processos de conformação primários são, como o próprio nome indica, a primeira etapa no processo de manufatura. Estes têm como objetivo conferir à peça as dimensões gerais, próximas das finais. Existem, no entanto, processos de fabrico inseridos neste grupo que conseguem satisfazer os critérios previamente estabelecidos. Assim sendo, estes tornam-se a única etapa de fabrico. Os principais processos de conformação primários são os seguintes [16]:

- **Fundição:** A fundição é um processo de fabrico no qual, através do vazamento de metal, no estado líquido, num molde, é conferida à peça, pelo processo de solidificação do metal no interior da moldação, a geometria pretendida ou próxima da pretendida. Existem inúmeros métodos para efetuar este processo, podendo variar da seguinte forma: o tipo de moldação, permanente ou não permanente, e o tipo de vazamento, sobrepressão/ injetada

ou vazamento à pressão atmosférica. No Capítulo 2.3.1, vai ser abordada a fundição injetada em mais detalhe.

- **Injeção:** Este processo apresenta algumas semelhanças ao processo de fundição, como, por exemplo, ambos dão uso a moldes no qual se vai dar a solidificação, cura do material. Para tal, existem diferentes variantes deste processo. Caso o polímero seja um termoplástico, é possível aplicar os métodos de moldação a vácuo ou por sopro. O método de injeção aplica-se a ambos, termoplásticos e termoendurecíveis. No entanto, são requeridas algumas modificações dos equipamentos. A eficiência deste processo está altamente relacionada com o tipo de polímero utilizado e o seu tempo de solidificação ou cura. Algumas medidas podem ser tomadas neste sentido, como: sistema de arrefecimento no molde para os termoplásticos, e um sistema de aquecimento no molde dos termoendurecíveis, para acelerar o processo de cura.
- **Conformação plástica:** Como o próprio nome indica, estes processos dão uso à característica plástica dos materiais para conferir a forma desejada. Deste modo, os materiais sofrem deformação além do limite elástico, alterando a sua microestrutura e propriedades mecânicas, sobretudo melhor resistência à tração e ductilidade. Assim, para além de conformar a forma desejada, este processo pode ser utilizado para conferir ao material determinadas características mecânicas. Existem inúmeros métodos de conformação plástica, podendo este processo ter elevada capacidade de produção. Algumas das técnicas de conformação mais conhecidas, são: forjamento, laminagem, extrusão, estampagem, trefilagem, dobragem, entre outros.
- **Fabrico de materiais compósitos:** Os materiais compósitos são constituídos por dois ou mais materiais diferentes. Posto isto, existem diversas técnicas para os produzir. A mais rudimentar é a moldação manual, que passa por colocar fibras num molde e impregná-las com resina. Existem algumas variantes desta técnica. Apesar do empilhamento ser efetuado por um técnico, a cura do laminado pode ser realizada sobre vácuo, a título de exemplo. Outra técnica bastante utilizada no fabrico de perfis em compósito é a pultrusão. Este método é caracterizado por elevados níveis de produção, podendo chegar aos três metros por minuto. Outras técnicas para o fabrico de compósitos, passam por injeção e moldação sobrepressão.

Podem-se considerar como processos de fabrico secundários todos aqueles que procedem aos anteriormente referidos. Por norma, têm como objetivo finalizar a peça. Podem passar por atribuir à peça as dimensões finais, como podem também conferir acabamentos e tratamentos superficiais. Alguns destes processos são [16]:

- **Remoção de material:** Os processos de remoção de material são maioritariamente utilizados quando os processos efetuados anteriormente não têm a capacidade de atribuir à peça as dimensões pretendidas. À semelhança com todas as classes de processos, também estes apresentam diversos métodos para proceder à remoção de material. O torneamento e a fresagem são as técnicas que mais se utilizam no que toca à remoção de material. A diferença entre estes dois é o facto de que no torno a peça gira em torno do seu eixo e a ferramenta de corte não, enquanto no processo de fresagem é exatamente o contrário, a ferramenta de corte gira. Com a evolução da tecnologia, novas técnicas apareceram. Um exemplo disto é o feixe de eletrões. Este processo projeta eletrões a alta

velocidade, gerando calor, o que leva à vaporização da superfície. Estes processos, por norma, são utilizados apenas quando o número de peças a produzir é reduzido.

- **Tratamentos térmicos:** Em ordem a alterar as propriedades de uma peça já com dimensões próximas das finais, é necessário efetuar tratamentos térmicos à mesma. Os efeitos que estes podem ter, passam pelo seguinte: aumentar ou diminuir a dureza, reduzir tensões residuais dos processos anteriores, melhorar a ductilidade se assim for requerido, entre outros. A alteração das propriedades torna-se possível devido ao fenómeno de recristalização. Alguns exemplos são: têmpera; recozido; revenido.

Por fim, temos a montagem e ensaio. Esta última etapa nem sempre se aplica, no entanto, é uma etapa fundamental em alguns produtos como, por exemplo, estruturas ou mecanismos. Esta etapa engloba todos os processos de ligação, bem como medição, inspeção e testes de funcionamento do produto em questão. À semelhança das etapas previamente mencionadas, são descritos alguns dos processos mais utilizados nesta etapa, como [16]:

- **Ligações não permanentes:** Estas ligações, como o próprio nome indica, permitem a montagem e desmontagem sem danificar a peça a ligar. A título de exemplo, tem-se os parafusos.
- **Ligações permanente:** Este tipo de ligações não permite que os componentes sejam desmontados sem estragos. Um exemplo claro destas ligações é a soldadura, que funde as duas peças a ligar numa só, sendo este processo irreversível.
- **Adesivos:** Existe ainda a possibilidade de utilizar adesivos de origem polimérica para efetuar a ligação pretendida. Com a evolução dos adesivos, a sua utilização tem aumentado significativamente, devido ao baixo peso e facilidade de aplicação.

Como é possível concluir, a variedade de processos de fabrico disponíveis é de veras extensa, o que pode tornar o processo de seleção intimidador. Tendo isto em consideração, foram criadas as matrizes PRIMAs (*Process Information Maps*). A matriz PRIMA tem como critério de seleção dois fatores: tipo de material e quantidade a produzir anualmente. Esta matriz não é um método rigoroso, ou seja, existem sempre casos particulares. Ainda assim, esta é de elevada utilidade, pois permite identificar o grupo de processos mais indicados, e eliminar outros que não seriam possíveis de executar. Desta forma, as matrizes funcionam como um filtro. Na Figura 5 é demonstrado um exemplo de matriz PRIMA.

Note - The PRIMA selection matrix cannot be regarded as comprehensive and should not be taken as such. It represents the main common industrial practice but there will always be exceptions at this level of detail. Also, the order in which the PRIMAs are listed in the nodes of the matrix has no significance in terms of preference.

MATERIAL QUANTITY	IRONS (carbon)	STEEL (tool, alloy)	STAINLESS STEEL	COPPER & ALLOYS	ALUMINIUM & ALLOYS	MAGNESIUM & ALLOYS	ZINC & ALLOYS	TIN & ALLOYS	LEAD & ALLOYS	NICKEL & ALLOYS	TITANIUM & ALLOYS	THERMOPLASTICS	THERMOSETS	FR COMPOSITES	CERAMICS	REFRACTORY METALS	PRECIOUS METALS
VERY LOW 1 TO 100	[1.5][1.6] [1.7][4.M]	[1.5][1.7][3.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.5][1.7][3.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.5][1.7] [3.10][4.M] [5.1]	[1.5][1.7] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.5][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.5] [2.7]	[2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
LOW 100 TO 1,000	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
LOW TO MEDIUM 1,000 TO 10,000	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
MEDIUM TO HIGH 10,000 TO 100,000	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
HIGH 100,000+	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
	[1.2][1.5] [1.6][1.7] [4.M]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5] [5.6]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1]	[1.6][1.7] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][1.7] [3.10][4.M] [5.5]	[1.1][3.10] [4.M][5.5]	[1.2][1.5] [3.10][4.M] [5.1][5.5]	[1.1][1.6] [3.7][3.10] [5.5][5.6]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.3] [2.5] [2.7]	[2.2] [2.8] [5.7]	[1.5] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[1.1] [5.1] [5.5] [5.6] [5.7]	[5.5]
ALL QUANTITIES	[1.1]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]
	[1.1]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]	[1.1][1.6] [3.6][3.8] [3.9]

KEY TO MANUFACTURING PROCESS PRIMA SELECTION MATRIX:

CASTING PROCESSES	PLASTIC & COMPOSITE PROCESSING	FORMING PROCESSES	MACHINING PROCESSES	NTM PROCESSES
[1.1] SAND CASTING	[2.1] INJECTION MOULDING	[3.1] CLOSED DIE FORGING	[4.A] AUTOMATIC MACHINING	[5.1] ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (EDM)
[1.2] SHELL MOULDING	[2.2] REACTION INJECTION MOULDING	[3.2] ROLLING	[4.M] MANUAL MACHINING	[5.2] ELECTROCHEMICAL MACHINING (ECM)
[1.3] GRAVITY DIE CASTING	[2.3] COMPRESSION MOULDING	[3.3] DRAWING	(THE ABOVE HEADINGS COVER A BROAD RANGE OF MACHINING PROCESSES AND LEVELS OF CONTROL. DETAIL, THE READER IS REFERRED TO THE INDIVIDUAL PROCESSES.)	[5.3] ELECTRON BEAM MACHINING (EBM)
[1.4] PRESSURE DIE CASTING	[2.4] TRANSFER MOULDING	[3.4] COLD FORMING		[5.4] LASER BEAM MACHINING (LBM)
[1.5] CENTRIFUGAL CASTING	[2.5] VACUUM FORMING	[3.5] COLD HEADING		[5.5] CHEMICAL MACHINING (CM)
[1.6] INVESTMENT CASTING	[2.6] BLOW MOULDING	[3.6] SWAGING		[5.6] ULTRASONIC MACHINING (USM)
[1.7] CERAMIC MOLD CASTING	[2.7] ROTATIONAL MOULDING	[3.7] SHEET-METAL SHEARING		[5.7] ABRASIVE JET MACHINING (AJM)
[1.8] PLASTER MOLD CASTING	[2.8] CONTACT MOULDING	[3.8] SHEET-METAL FORMING		
[1.9] SQUEEZE CASTING	[2.9] CONTINUOUS EXTRUSION (PLASTICS)	[3.9] SPINNING		
		[3.10] POWDER METALLURGY (METALS)		
		[3.11] CONTINUOUS EXTRUSION (METALS)		

Figura 5 – Exemplo de matriz PRIMA [16]

2.2.2. Ferramentas de Projeto Assistido por Computador (CAD/CAE)

Ao longo da história, a criação de protótipos sempre foi vista como algo obrigatório na concepção de um produto. No decorrer do projeto, várias interações da mesma peça podiam ser criadas, tornando-se dispendioso. No entanto, com a evolução da tecnologia, isto deixou de ser verdade. Atualmente, existem no mercado *software's* capazes de simular estas peças, e a sua interação com o exterior. Esta tecnologia veio reduzir o custo de prototipagem, uma vez que o número de interações fica significativamente reduzido [17]. As tecnologias de projeto assistido por computador trazem consigo inúmeras vantagens, para além da anteriormente mencionada. Estas permitem criar modelos em três dimensões (3D), o que torna a sua compreensão bastante mais fácil do que um simples desenho, e possibilitam também avaliar as características físicas da peça [18].

O projeto assistido por computador rege-se de acordo com as etapas ilustradas na Figura 6.

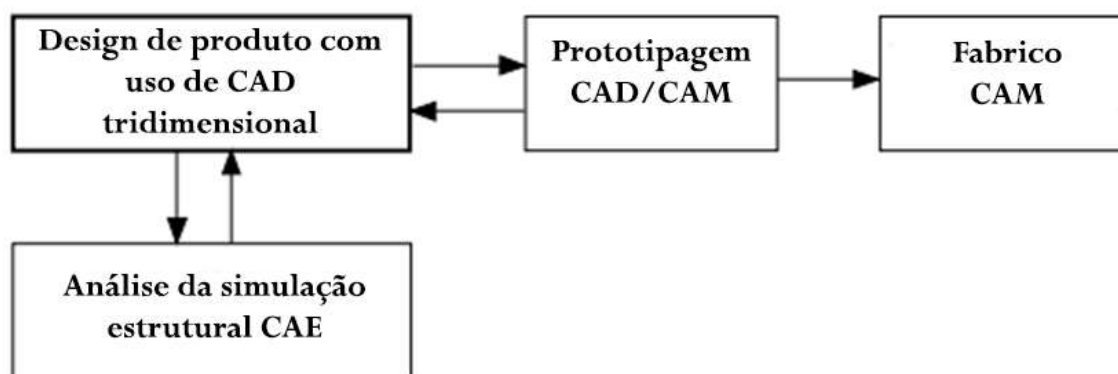


Figura 6 - Fluxograma da utilização de assistência computacional na manufatura [18]

O desenho assistido por computador (CAD) é a primeira etapa deste processo. Aqui são criados os componentes e todas as suas características, que incluem: geometria; volume; peso; centro de massa entre outros. Deste modo, a peça ou mecanismo fica inteiramente definido nesta etapa. Uma vez terminado o CAD, procede-se para a engenharia assistida por computador (CAE), uma etapa muito importante. O CAE permite simular a interação do produto com a sua envolvente, ou seja, efetua a análise do componente. Isto vai ajudar a tomar decisões importantes no seguimento do processo. Caso se verifique, através desta etapa, que a peça não satisfaz as condições necessárias, é possível voltar à etapa anterior, CAD, e corrigir o que se entender por necessário. Por último, existe a possibilidade de o *software* criar o código ou etapas necessárias ao fabrico da peça. A esta etapa dá-se o nome de fabrico assistido por computador (CAM) [19].

Os programas mencionados anteriormente, utilizam como princípio de funcionamento para efetuar as análises, o método de elementos finitos (MEF). Este foi desenvolvido há cerca de 50 a 60 anos atrás, como solução à resolução de equações diferenciais parciais, resultantes de inúmeros problemas da engenharia. [20]. Através deste método, torna-se possível efetuar diversas simulações, como: escoamento de fluidos; análises estruturais; vibrações e transferência de calor [21]. Esta metodologia tem como princípio de funcionamento a divisão da peça em elementos de dimensão inferior, os quais assumem o nome de elementos finitos. Os elementos estão por sua vez conectados entre si por nós. Deste modo, torna-se possível efetuar os cálculos [22].

2.2.3. Recentes avanços na melhoria e automatização de processos

Na Tabela 1 são analisados artigos relativos à melhoria e automatização de processos. É efetuado um pequeno resumo de cada um dos artigos e é exposto o problema e a solução alcançada para resolver esse mesmo problema.

Tabela 1 - Estudo sobre os avanços na melhoria e automatização de processos

Referencia	Descrição
[23]	O autor teve como objetivo juntar duas unidades de produção, com o intuito de melhorar o controlo do processo e melhorar a fluidez do trabalho. O objetivo foi alcançado através do uso de um sistema de passadeiras rolantes que permitiu conectar as duas unidades de produção. Deste modo, o controlo do processo tornou-se bastante mais fácil, uma vez que o mesmo era feito ao longo da linha continua. Esta alteração permitiu também o ajuste rápido da linha para produzir outras referências.
[24]	O artigo teve como objetivo o desenvolvimento de um equipamento automático para a montagem de componentes para a indústria automóvel, e com isto aumentar a produção e diminuir o erro humano. Foram aplicados: sistema automático de alimentação de material; processo de montagem completamente automatizado e inspeção do conjunto também de forma automatizada. O autor estimou que para implementar o equipamento seriam necessários cerca de 63 000 €, com um prazo de retorno do investimento de dois anos.
[25]	Devido ao aumento da complexidade da estrutura dos assentos automóveis, o autor teve como objetivo criar um sistema automatizado da alimentação e extração dos arames da estrutura no molde, para poder ser sobre-injetada a matriz polimérica, evitando o processo manual, que é demorado. Através da aplicação de sistemas pneumático com garras, o autor conseguiu aumentar a produtividade em 20% e descartar três funcionários. Previu ainda um retorno no investimento de cinco meses.
[26]	Com o objetivo de reduzir o trabalho manual na indústria de manufatura de roupa, o autor desenvolveu um novo conceito de máquina, para cortar e coser colarinhos e punhos, parcialmente automatizada. Existiu a dificuldade em aplicar o controlo das peças por visão artificial, dadas as cores dos tecidos e linhas traçadas nos mesmos. No entanto, foi possível aumentar a produção e fiabilidade do processo.
[27]	O trabalho foi desenvolvido com o propósito de melhorar a produção, automatizando o processo de montagem de limpa para-brisas e garantindo, ao mesmo tempo, a flexibilidade atual da linha em fazer outros modelos da mesma família. O autor desenvolveu um conceito em que o processo se dava em torno de uma passadeira rolante com gabaris para cada referência. Para além da montagem, este equipamento realizava também a inspeção do componente. Assim, concluiu que este equipamento garante a produção

de pequenas séries com elevada capacidade de adaptação, garantindo os requisitos do mercado. Com a automatização do processo, a produção aumentou para 1000 peças por hora, ou seja, 3,6 segundos por peça.

- [28] Tendo em consideração a elevada importância da maquinaria na indústria metalúrgica, o autor desenvolveu um conceito de alimentação automática para máquinas CNC. A alimentação destas foi feita por robôs com sensores e atuadores automáticos, permitindo a flexibilidade do processo. Este conceito insere-se naquilo que normalmente se designa por indústria 4.0. O autor prevê que a produção aumente consideravelmente.
-

2.3. Fundição

A fundição é um processo no qual o metal, no estado líquido, por ação da gravidade ou pressão, preenche um molde onde solidifica na forma que se pretende. Posto isto, este processo é bastante versátil, uma vez que a peça fica com as dimensões bastante próximas das finais, ou até mesmo finais em algumas variantes deste processo, evitando assim a necessidade de retificar a peça posteriormente [29].

2.3.1. Fundição injetada

As máquinas de fundição têm a sua origem na indústria das impressões, quando no século XIX (19) surgiu a necessidade de aumentar a produção. Posto isto, Ottmar Mergenthaler desenvolveu a máquina *Linotype*, a qual fundia cada linha de impressão num bloco, em chumbo. Ao juntar os blocos dava origem à página, que mais tarde iria ser usada para a impressão. Esta máquina foi usada pela primeira vez em 1886, em Nova York, pelo jornal *The Tribune*. Em 1907 E. Wagner desenvolveu a primeira máquina de fundição injetada, sendo esta de câmara quente. Este processo teve um papel importante na primeira guerra mundial, produzindo peças para binóculos e máscaras. Desde então, a fundição injetada sofreu uma grande evolução [29].

A fundição injetada, como o próprio nome indica, é um processo de fundição no qual o metal é injetado sob pressão numa moldação permanente. Neste processo, são usadas maioritariamente ligas metálicas não ferrosas, como o alumínio e o zinco. A fundição injetada é o processo mais indicado para produzir peças com geometria complexa, e melhores acabamentos superficiais, evitando assim, em alguns casos, a retificação posterior da peça, como mencionado anteriormente. Para este processo, são necessários os seguintes equipamentos: cadinho, onde vai ser fundido o metal; a máquina de injeção, que é responsável por injetar o metal e manter a pressão durante o arrefecimento; e do molde, onde vai ser depositado o metal e, por sua vez, a peça vai ser formada por arrefecimento. A duração do processo varia consoante o tempo que demora a completar cada uma das cinco etapas do mesmo: Fecho do molde; Injeção; Arrefecimento; Extração e Rebarbagem [30]. Os principais parâmetros deste processo são: pressão; tempo de injeção; tempo de arrefecimento e temperatura da liga fundida. Como todos os processos, também a fundição injetada tem as suas vantagens e desvantagens. A Tabela 2 indica algumas destas.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da fundição injetada [31],[32]

Vantagens	• Obtenção de peças com baixo rigor geométrico. • Séries com elevada produtividade e consistência. • Bom acabamento superficial. • Possibilidade de produzir paredes finas e de formas complexas.
Desvantagens	• Dimensão limitada das peças a produzir. • Sujeito a defeitos causados por retenção de ar na matriz. • Só exequível para ligas com baixo ponto de fusão.

Um dos grandes problemas da fundição injetada, e que tem vindo a limitar o seu uso a uma escala maior, são as porosidades, que podem vir a aparecer nas peças injetadas. Torna-se evidente que estas reduzem as propriedades mecânicas da mesma. Este defeito deve-se a dois grandes fatores: retenção de gases no molde ou rechupes. No processo de fundição injetada, a microestrutura das peças produzidas não é a mais indicada para certos requisitos. Recorrer a tratamentos térmicos para corrigir a microestrutura seria o procedimento lógico. No entanto, isto não é possível. Os tratamentos térmicos em peças injetadas têm tendência a fazer emergir defeitos como bolhas [33].

O processo de fundição injetada pode ser dividido em dois subprocessos, injeção em câmara fria e injeção em câmara quente.

Câmara fria

O processo de fundição em câmara fria caracteriza-se pelo facto de o sistema de injeção não estar imerso no metal líquido. Isto deve-se ao facto de o alumínio, na forma líquida, funcionar como solvente para o aço, o que iria rapidamente degradar os componentes com os quais entrasse em contacto durante um período alargado de tempo [34]. Este processo é, por norma, utilizado para ligas não ferrosas com ponto de fusão mais elevado, como é o caso das ligas de alumínio, magnésio e cobre [35]. O sistema de injeção do processo de câmara fria é normalmente composto por: um cilindro horizontal, com um furo para se poder abastecer o mesmo a cada ciclo; um pistão, podendo este ser arrefecido a água; e um cilindro hidráulico que vai transmitir o movimento ao pistão [13]. Quando comparado com o processo de câmara quente, os tempos de cada ciclo são mais altos. Este fenómeno deve-se à necessidade de alimentar o cilindro de injeção em cada ciclo. No entanto,

continua a ser considerado um processo de elevada produção. As pressões praticadas na injeção em câmara fria podem variar entre os 14 e 140 MPa [29].

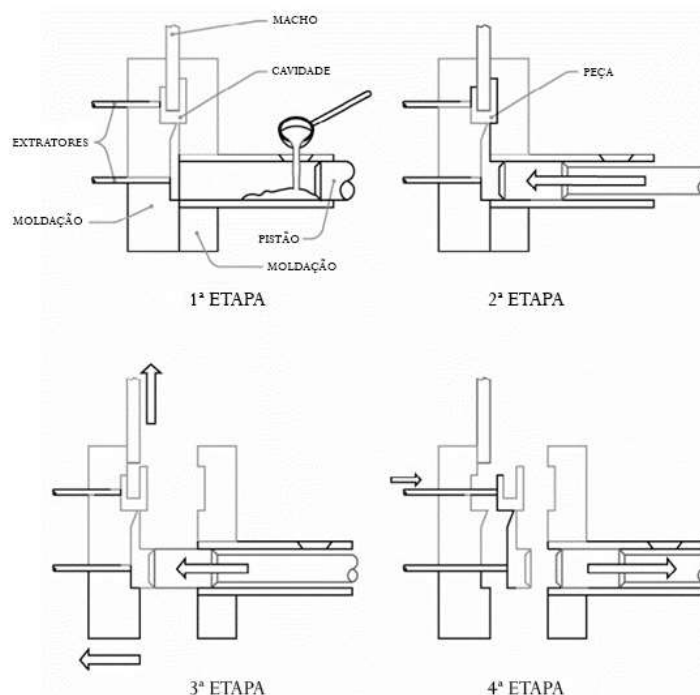


Figura 7 - Etapas do ciclo de injeção de câmara fria [36]

O desenrolar do ciclo de injeção de uma máquina de câmara fria é bastante simples. Inicia-se pela alimentação, manual ou automática, da câmara com o metal no estado líquido. Imediatamente após este passo, o pistão avança a baixa velocidade, forçando o metal até ao molde. A baixa velocidade no início do processo tem como objetivo evitar a inclusão de gases no metal, que mais tarde podem vir a formar porosidades na peça. É de notar que, com o avanço do pistão, o orifício por onde foi realizada a alimentação da máquina vai ser vedado, sendo possível deste modo manter a pressão no cilindro e evitar a saída de metal pelo mesmo. Imediatamente antes de o metal começar a preencher a peça, a velocidade do pistão aumenta. Uma vez preenchido o molde, o cilindro mantém a posição de modo a manter a pressão durante a solidificação da peça [34]. O pistão não percorre o comprimento completo do cilindro, formando deste modo um disco de material no fim de curso. Após a solidificação da peça, o molde abre e, com o auxílio de extratores, a peça é retirada do mesmo. As etapas descritas estão representadas na Figura 7.

Câmara quente

Apesar de o processo de câmara fria e câmara quente serem processos distintos e com as suas particularidades, o princípio de funcionamento de ambos é bastante semelhante. A grande diferença é que, neste processo, o sistema de injeção encontra-se submerso no metal líquido, como ilustrado na Figura 8. Isto não só reduz a perda de calor do metal, como também elimina a necessidade de alimentar o sistema de injeção a cada ciclo. Assim sendo, o tempo de ciclo diminui e, conseqüentemente, aumenta a produção para praticamente o dobro [34],[37]. O ciclo de injeção deste processo pode então ser descrito da seguinte forma: na primeira etapa, o molde fecha e o cilindro de injeção é preenchido com o metal fundido; de seguida, a cavidade do molde é preenchida por ação do pistão, a pressão é mantida até o metal solidificar; após a solidificação da peça, o molde é aberto ao mesmo tempo que o pistão retorna à posição inicial; por fim, na quarta

etapa, a peça é retirada do molde com auxílio de extratores. Após a etapa quatro, o ciclo retorna à etapa um, dando origem a um novo ciclo [36]. A injeção em câmara quente é utilizada principalmente para injetar metais de baixo ponto de fusão, tais como ligas de Zinco e Chumbo.

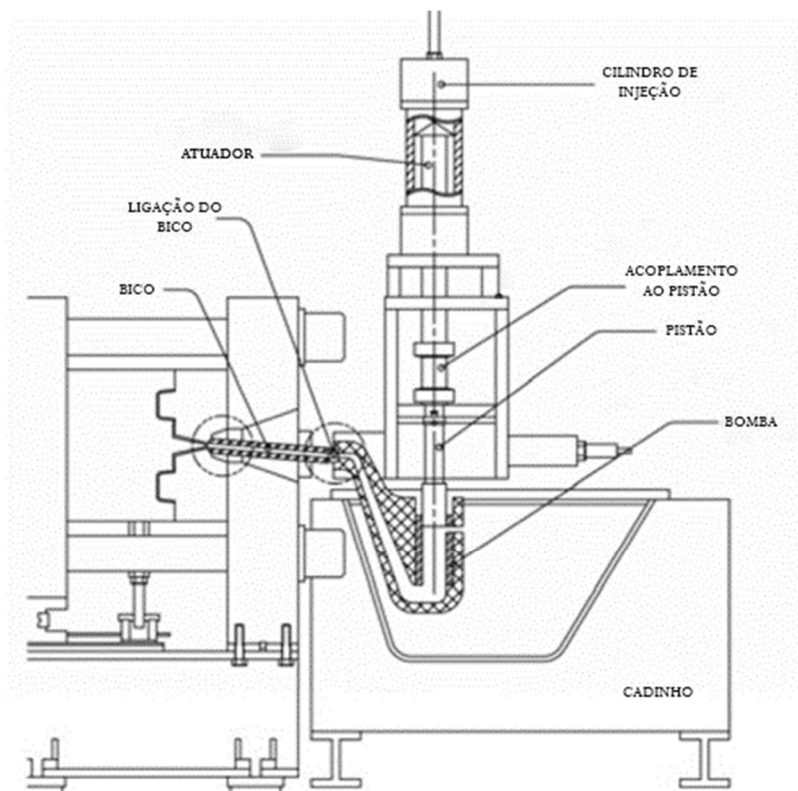


Figura 8 - Máquina de injeção de câmara quente [36]

2.3.2. Ligas de Zinco

O zinco é o quarto metal mais usado no mundo. É maioritariamente utilizado em galvanizações para proteger metais da corrosão. Contudo, as suas ligas são de elevada importância na indústria da fundição injetada [38]. A indústria automóvel é das principais responsáveis pelo consumo destas. Peças em ligas de zinco podem também ser encontradas em aparelhos eletrónicos, devido às suas propriedades não magnéticas; máquinas de todos os tipos; brinquedos, entre outros [37]. No entanto, como para todos os outros setores desta indústria, a sua importância no panorama mundial diminuiu, dada a pandemia que se fez sentir nos anos 2019 e 2020. Em Portugal, nos anos anteriormente referidos, houve um decréscimo de 12,1 % na produção de peças injetadas em ligas de zinco. No entanto, a produção de peças em zinco aumentou 30,7% do ano 2020 para 2021. Na Tabela 3 é possível observar o volume de produção de componentes de zinco em Portugal [39].

Tabela 3 - Produção de zinco em Portugal em toneladas [39]

	2017	2018	2019	2020	2021
Produção	2250	2440	2464	2165	2829

A versatilidade das ligas de zinco deve-se às suas propriedades físicas e mecânicas, como por exemplo: resistência ao impacto e desgaste; boa maquinabilidade; boa capacidade de absorção de som e vibrações, e boa capacidade à corrosão [40],[37]. Para além das características anteriormente mencionadas, apresentam também boas propriedades para processos de fundição, permitindo deste modo a fundição de peças com espessuras reduzidas e bons acabamentos superficiais. Devido às baixas pressões e temperaturas às quais as ligas de zinco podem ser injetadas, o tempo de vida dos moldes aumenta significativamente, enquanto a sua manutenção diminui [40].

É possível dividir as ligas de zinco em dois grandes grupos, em função do seu teor em alumínio. Assim temos a liga ZA está é uma liga zinco-alumínio constituída maioritariamente por zinco e alumínio podendo conter quantidades residuais de outros elementos de liga, e a liga Zamak, acrónimo de ligas de zinco constituídas por zinco; alumínio; magnésio e cobre. Estas são das mais utilizadas no processo de fundição em câmara quente, proporcionando um rápido ciclo de injeção, mantendo as propriedades pretendidas. Os elementos de liga anteriormente mencionados, são adicionados de modo a tornar as propriedades da liga mais desejadas [37]:

- **Alumínio:** as ligas de Zamak são caracterizadas por conter entre 3,5 e 4,3% de alumínio. A adição deste elemento traz inúmeras vantagens como: reduz o tamanho de grão; aumenta a resistência mecânica da liga; aumenta a fluidez e ajuda a minimizar o ataque do zinco aos componentes em aço com os quais poderá vir a estar em contacto.
- **Magnésio:** o propósito da adição de magnésio é minimizar a suscetibilidade de ocorrer corrosão intergranular causada por impurezas. No entanto, a adição deste elemento deve ser limitada, pois o excesso de magnésio pode causar problemas no processo de fundição, tais como: diminuir a fluidez e/ou a fissuração a quente, entre outros.
- **Cobre:** as vantagens do cobre na liga passam maioritariamente por aumentar a dureza e resistência mecânica da mesma. Mais uma vez, é necessário ter em atenção os teores máximos admissíveis, uma vez ultrapassados, a liga perde estabilidade dimensional.

As ligas ZA são semelhantes ao Zamak, sendo a grande diferença a quantidade de alumínio contida na mesma. O teor de alumínio pode variar consideravelmente. No entanto, a sua designação contém essa informação. Por exemplo, o ZA-27 contém 27% de alumínio. Devido ao aumento do teor de alumínio destas ligas, a sua resistência mecânica, assim como a sua resistência ao desgaste, vão aumentar [40]. Contudo, com o aumento da percentagem de alumínio, a injeção desta liga em câmara quente deixa de ser viável devido ao aumento da temperatura de fundição, sendo necessário utilizar o processo de câmara fria, o que promove um aumento do tempo de ciclo de cada peça produzida. Com isto, é preciso ter em consideração as propriedades e a capacidade de produção pretendidos, e escolher a liga que melhor se adequa.

2.3.3. Recentes avanços na fundição injetada de Zamak

Na Tabela 4 é efetuado o resumo de diversos artigos alusivos à temática da fundição injetada de Zamak. Nestes é descrito o motivo pelo qual os mesmos foram realizados e as soluções alcançadas pelos autores.

Tabela 4 - Estudo sobre a fundição injetada de Zamak

Referência	Descrição
[41]	O autor deu início a este trabalho devido à quebra prematura do gito. Com isto, efetuou uma análise ao processo de injeção de terminais de cabos de controlo em Zamak. Em função da análise efetuada, realizou mudanças no molde que resultaram na redução do gito em 62,6%; e da porosidade das peças em 10,2% para a primeira peça analisada, e em 55,9% para a segunda. Para além disto, conseguiu também resolver o problema de quebra prematura do gito.
[30]	Neste artigo, o autor teve como objetivo o estudo da influência dos parâmetros na injeção de Zamak, e a sua otimização para peças com requisitos estéticos. Para tal, utilizou ferramentas de elementos finitos e realizou ensaios. Concluiu que: a pressão de injeção deve ser baixa para evitar turbulência; o tempo de enchimento também deve ser baixo; o tempo de arrefecimento deve ser médio para permitir a solidificação da peça; caso a geometria da peça seja curva, a parte central desta deve estar no local mais baixo, recebendo o primeiro material injetado; e, por fim, concluiu também que deve ser utilizado sempre que possível apenas um canal de alimentação para reduzir a turbulência.
[42]	O presente artigo focou-se na fundição injetada de Zamak. Teve como objetivo maximizar a qualidade das peças injetadas, utilizando <i>software</i> de simulação. Deste modo, foi possível perceber a importância da localização dos canais de enchimento, bem como a de respiros. O estudo permitiu também criar um guião com o intuito de simplificar o desenvolvimento de moldes no futuro, e reduzir assim o número iterações.
[43]	Este trabalho foi realizado, pois, tanto os bicos de injeção de Zamak como as resistências utilizadas na altura, sofriam de desgaste excessivo. Posto isto o autor teve como objetivo aumentar o tempo de vida dos mesmos. Foram realizados dois bicos diferentes, sendo que o último apresentou melhores resultados. Este tem a zona de redução de diâmetro interior na parte fria do bico, diminuindo o refluxo de material. Foi também alterado o contacto entre a resistência e o bico, diminuindo a distância entre os dois. Estas alterações mostraram resultados positivos no tempo de vida dos bicos.
[44]	Utilizando a metodologia <i>Design science research</i> a autora partiu com o objetivo de reduzir o consumo de componentes do sistema de injeção de Zamak. Para tal efetuou um estudo aprofundado no qual detetou os métodos de falha do mesmo, tomando as ações necessárias. Desenvolvendo um novo conceito de ponteira e bico de injeção de Zamak a autora conseguiu melhorar a eficiência e a eficácia da máquina, reduzir o consumo de componentes aumentando o tempo de vida em 1100% e a redução do tempo de intervenções corretivas nos equipamentos aumentando a disponibilidade das máquinas.

[45]

O artigo focou-se no processo de fundição injetada, aplicado à indústria automóvel, com o objetivo de maximizar a qualidade de peças pequenas injetadas em Zamak, reduzindo a quantidade de gás retido no interior da mesma. Dando uso a um software de simulação por elementos finitos, o autor conseguiu caracterizar o escoamento no interior do molde. De seguida são quantificadas as porosidades dos terminais, e através de uma ferramenta de MATLAB® desenvolvida para o propósito, o autor consegue alcançar o seu objetivo alterando os sistemas de escoamento do metal líquido no interior do molde. O conceito é validado comparando os resultados dos ensaios realizados, antes e depois das modificações.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Caracterização da Empresa

Grupo Ficosa Internacional S.A.

O grupo Ficosa é uma multinacional que atua no sector automóvel. Esta teve início em 1949 numa pequena oficina em Barcelona, fundada por José María Pujol e José María Tarragó. A empresa iniciou a sua atividade com a produção de cabos de controlo para o mercado de peças sobresselentes. Com o rápido crescimento da IA em Espanha entre os anos 50s e 70s, a empresa consolidou-se como o principal fornecedor para os fabricantes de automóveis locais. Com a entrada de Espanha na comunidade económica europeia (CEE) em 1986, a empresa lançou-se no mercado europeu, chegando rapidamente às grandes empresas europeias. Nos anos 90, o grupo começou a expandir as suas operações mundialmente, nomeadamente na Ásia e na América do Norte e Sul. Com o seu crescimento contínuo, em 2015 a empresa formou uma parceria com a Panasonic. Esta ajudou o grupo Ficosa a dar um grande salto no mercado das novas tecnologias, nomeadamente no mundo da mobilidade elétrica, que tem vindo a desenvolver-se até à atualidade [46].

Nos dias de hoje, o grupo Ficosa está presente em 16 países e conta com mais de nove mil colaboradores. Tem como missão criar, inovar, desenvolver e fabricar soluções para melhorar a segurança, eficiência e conectividade, com base no compromisso para com os cliente, funcionários, sociedade e ambiente. Os valores do grupo passam pelo interesse nas pessoas; foco no cliente; trabalho de equipa; honestidade e integridade; empenho e paixão; liderança e por fim, inovação e criatividade. Utilizando estes valores, o grupo Ficosa pretende, através da inovação na IA, contribuir para um futuro mais sustentável e seguro.

Ficocables, Lda.

A Ficocables, Lda., é uma empresa que atua no setor automóvel, fabricando maioritariamente cabos de controlo e sistemas de conforto. Esta pertence ao grupo Ficosa internacional, S.A., anteriormente apresentado.

A Ficocables, Lda., conta com mais de 50 anos de atividade, tendo sido fundada em 1971 pelo engenheiro Franco Dias numa oficina em Vila Nova de Gaia, com o nome de Teledinâmica. Um ano mais tarde, em 1972, a empresa associa-se a uma empresa espanhola denominada de Pujol e Tarragó, a atual Ficosa. Este foi um passo bastante importante para o crescimento da empresa, sendo que na década de 80 esta começou a exportar os seus produtos para os principais fabricantes de automóveis a nível europeu. Com o rápido crescimento surgiu a necessidade de mudar de instalações. Em 1982, a então Teledinâmica deixa as suas instalações em Vila nova de Gaia, e muda-se para as instalações atuais em Vermoim, Maia. Em 1993, a empresa ganha uma nova designação, passando de Teledinâmica para Ficocables, Lda. Do crescimento contínuo desta empresa resultou, em 2018, a expansão de infraestruturas, com o investimento de cinco milhões de euros. Assim, Ficocables acrescentou uma nova unidade de produção com o intuito de aumentar a competitividade, eficiência e produção [47]. Na Figura 9 é possível observar o novo edifício da fábrica Ficocables [48].



Figura 9 - Vista aérea da fábrica Ficocables.

Caracterização da máquina de injeção de Zamak

Como já foi referido anteriormente, os cabos de controlo possuem nas suas extremidades terminais que têm como objetivo fazer o acoplamento do cabo ao mecanismo pretendido. Estes são fabricados através de um processo de fundição denominado injeção em câmara quente. A primeira etapa deste processo é o acionamento do pistão que provoca a injeção do Zamak no molde, durante a segunda etapa a pressão de injeção permanece constante durante a solidificação da peça, por fim na terceira etapa a moldação abre e com auxílio de extratores a peça é retirada. Neste subcapítulo, é realizada uma análise do mecanismo de injeção atualmente implementado na fábrica. Na Figura 10 é possível observar uma das máquinas de injeção de Zamak atualmente utilizadas na empresa. Apesar de nem todas as máquinas em utilização serem totalmente iguais à ilustrada, o princípio de funcionamento e os principais componentes são partilhados nas diversas configurações. Deve ainda ser mencionado que existem dois conceitos implementados na empresa, conceito de bico encostado e conceito rotativo. A diferença entre os dois será explicada posteriormente.

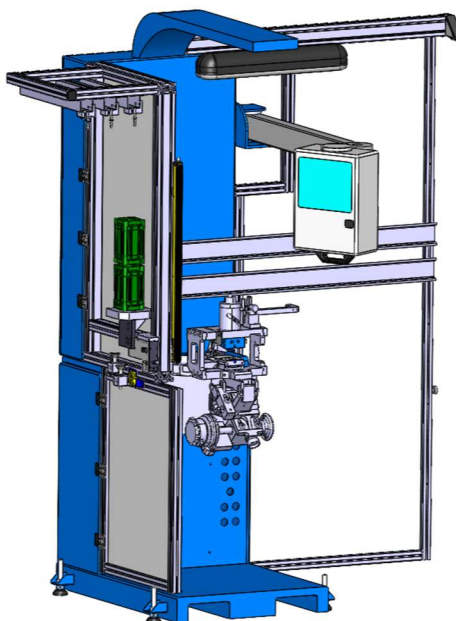


Figura 10 - Máquina de injeção de Zamak

Posto isto, procede-se à caracterização dos diversos componentes que constituem o sistema de injeção de Zamak. Relativamente às máquinas de injeção de Zamak utilizadas na empresa, existe uma vasta seleção de dissertações e artigos que descrevem pormenorizadamente o seu funcionamento, pelo que neste capítulo apenas se fez uma pequena abordagem aos componentes relevantes para o estudo em questão.

Cadinho

O cadinho, ou também denominado como panela no ambiente empresarial, é um recipiente de ferro fundido, no qual o Zamak é fundido e mantido no estado líquido. A temperatura do mesmo varia entre os 430°C e 440°C, temperatura ideal para o processo de fundição de Zamak, e é assegurada por resistências elétricas controladas por uma sonda introduzida no Zamak fundido. A quantidade de Zamak a ser alimentado ao cadinho é controlado por uma boia. A Figura 11 demonstra o cadinho atualmente utilizado pela empresa e os componentes em seu redor.

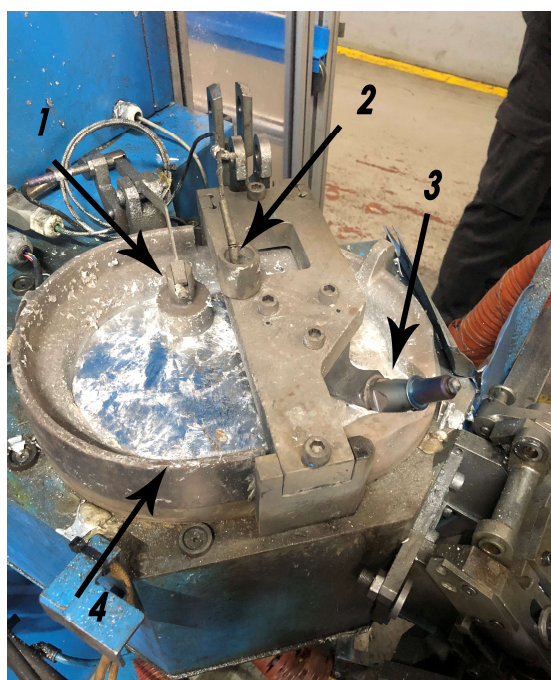


Figura 11 - Cadinho: 1-Boia; 2-Sonda; 3-Bomba, ponteira e bico; 4-Cadinho

Bomba de Injeção

Inserido no cadinho está a bomba de injeção. Este é um dos principais componentes para o bom funcionamento da máquina. A bomba funciona por ação de um pistão que força a passagem de Zamak pelo canal de injeção. O corpo da bomba é fabricado por fundição. No entanto, para aumentar a resistência da mesma ao desgaste, é introduzida no cilindro uma camisa em aço AISI H13 temperado e nitrurado. Esta camisa pode ser substituída consoante necessário. Neste momento, partindo de um conjunto bomba/pistão novo, o procedimento passa por inicialmente trocar de um pistão sem segmentos para um pistão com segmentos. Os segmentos vão eliminar as folgas criadas pelo desgaste, conferindo assim a correta vedação e garantido a pressão necessária para o processo; quando o pistão com segmentos atinge o desgaste máximo, a bomba é retirada da máquina e é retificada; é nesta altura que é introduzida uma camisa nova. Este ciclo é repetido. Este método de reparação permite reaproveitar o corpo da bomba, diminuindo os custos e

desperdícios de material. Na Figura 12 é possível observar a bomba atualmente utilizada em todas as máquinas de Zamak em CAD, e uma bomba para recondicionamento.

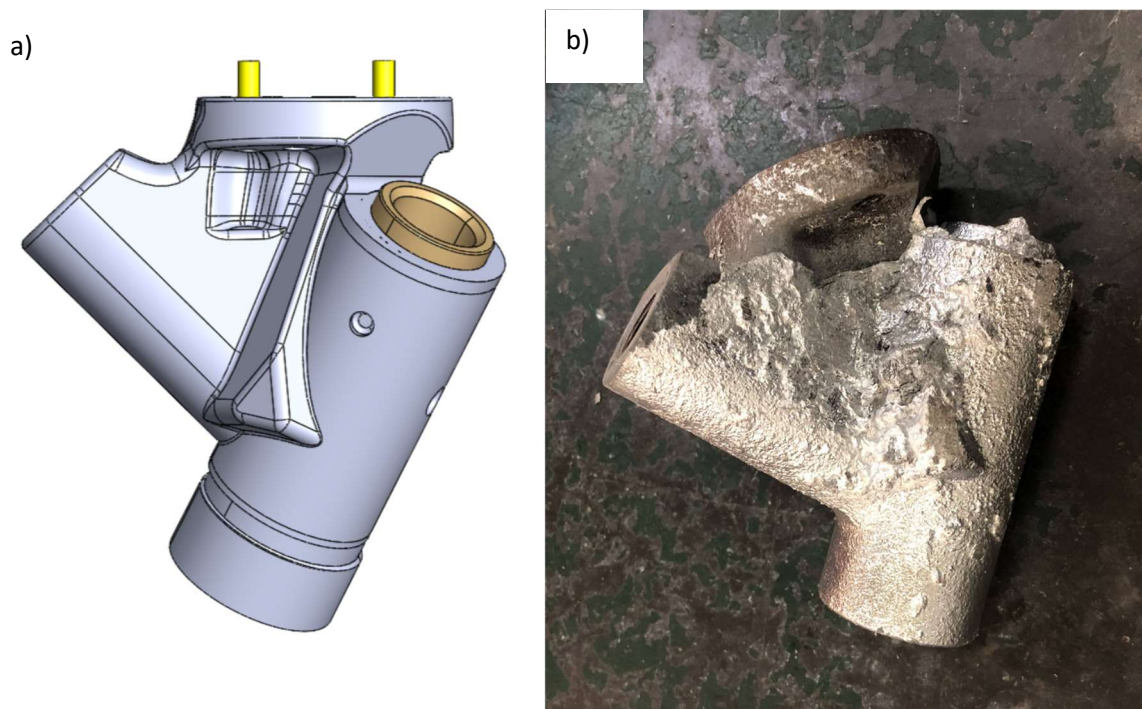


Figura 12 - a) Bomba de injeção em CAD, b) bomba de injeção para recondicionar.

Ponteira e Bico

Seguindo a trajetória do Zamak, passa-se a descrever a ponteira e o bico de injeção acoplados à bomba. Estes têm vindo a sofrer grandes alterações ao longo dos anos na empresa, desde a forma como eram aquecidos, até à sua geometria. Como referido anteriormente, existem dois conceitos implementados nas máquinas de injeção de Zamak; o conceito de bico encostado e o conceito rotativo. No conceito rotativo, como o próprio nome indica, o bico encosta e desencosta da estrutura do molde a cada injeção. Isto traz diversos problemas, não só de desgaste prematuro do bico e da estrutura do molde, como também de todo o mecanismo de rotação, Figura 13.

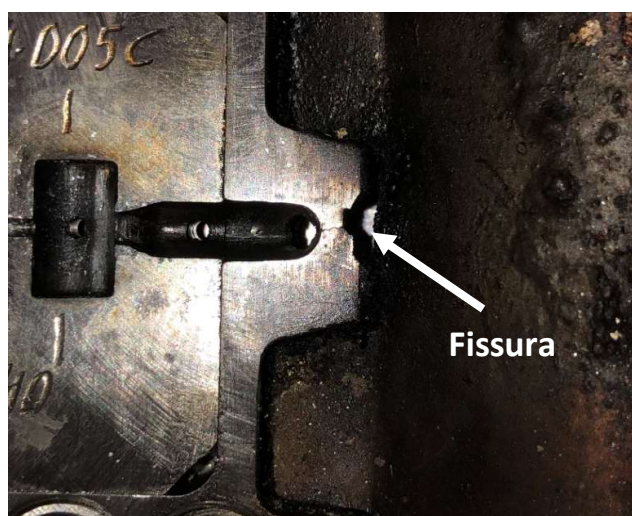


Figura 13 - Estrutura danificada devido ao impacto.

Esta versão é mais antiga, no entanto é a que se encontra implementada na maioria das máquinas da empresa. O conceito de bico encostado surgiu com o intuito de eliminar o problema do desgaste prematuro, erradicando o impacto cíclico causado pelo encosto e desencosto. Deste modo, o bico permanece encostado à estrutura. Os bicos destes conceitos possuem geometrias diferentes, como ilustrado na Figura 14. Ambos são fabricado por maquinagem em MG50/ AISI 13 temperado e nitrurado.

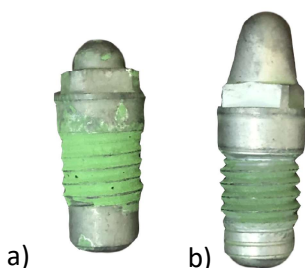


Figura 14 - a) Bico encostado b) bico do sistema rotativo.

A ponteira apareceu com a necessidade de facilitar a troca de bico das bombas. Atualmente, é utilizado um conjunto ponteira bico. À ponteira, é acoplada uma resistência para evitar o arrefecimento do Zamak ao longo do canal de injeção e o bico faz o encosto à estrutura do molde, como se pode observar na Figura 15.

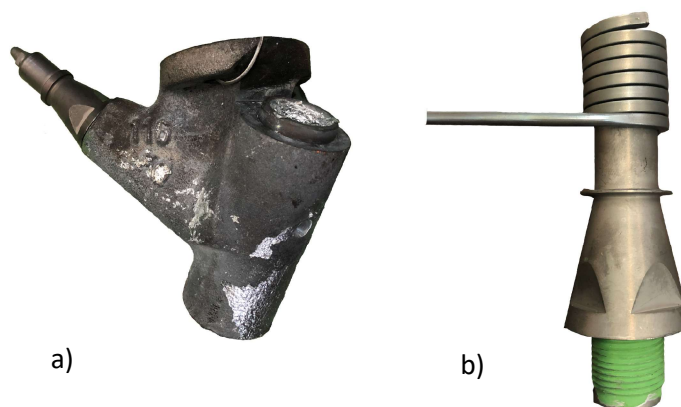


Figura 15 - a) Conjunto bomba ponteira; b) conjunto ponteira resistência.

Moldação

Dando continuidade ao percurso, prossegue-se para o molde. A moldação é composta por quatro componentes, estrutura e molde superior e inferior Figura 16. A moldação superior e inferior estão divididas pelo plano de apartação. O molde é responsável pela conformação do terminal da referência pretendida, enquanto a estrutura tem como função o acoplamento do molde e o

arrefecimento do mesmo. Este sistema estrutura molde permite mudar a referência da peça a injetar rapidamente, sem que seja necessário afinar o encosto entre o bico e a estrutura. As estruturas, tanto superior como inferior, permanecem montadas na máquina, enquanto o molde, montado na estrutura, é trocado conforme necessário. O sistema de arrefecimento do molde permite a passagem de água em canais estrategicamente posicionados, destinados a este propósito. A temperatura de funcionamento da estrutura ronda os 40°C. Porém, a mesma pode variar devido a diversos fatores, como obstruções nos canais e mudanças de temperatura na rede de água.

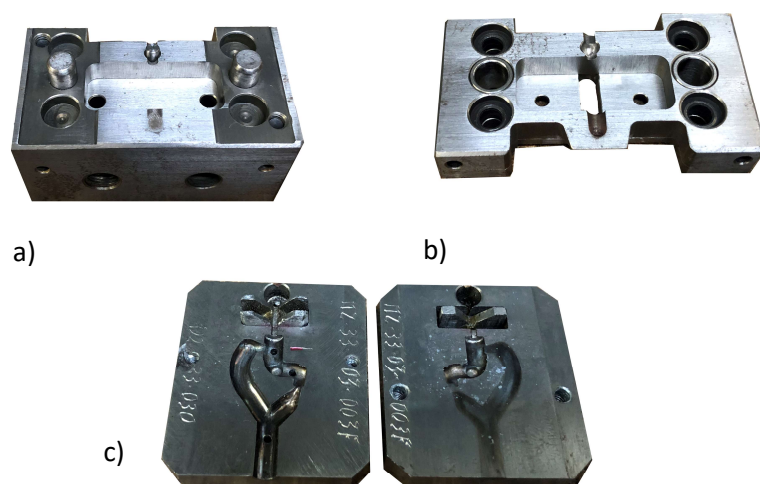


Figura 16 - a) Estrutura superior; b) Estrutura inferior; c) Moldes

3.2. Caracterização do Problema

Seguindo a metodologia DSR, neste subcapítulo é realizada a caracterização do problema sentido na instituição. O problema que se pretende resolver, encontra-se nas máquinas onde o bico de injeção está encostado na estrutura do molde permanentemente. Este conceito, apesar de apresentar inúmeras vantagens, como a redução de desgaste do bico de injeção e da estrutura, acarreta consigo um grande problema, as falhas de injeção, que por sua vez causam a paragem da linha de produção. Estas são, de momento, um grande problema na fábrica pois, devido ao panorama atual da IA, que requer prazos de entrega e orçamentos apertados, a paragem das linhas de produção pode pôr em causa a rentabilidade do produto. Atualmente, sempre que a máquina falha injeções, o operador da mesma vê-se obrigado a chamar um técnico. Este coloca a máquina em modo manual e desencosta o bico de injeção da estrutura, espera uns segundos e volta a encostar o mesmo. Este processo pode implicar até 30 minutos de paragem da linha, o que se traduz numa queda significativa da produção. Por vezes, caso este procedimento não se demonstre eficaz, torna-se necessário trocar o bico, que é algo que pode acarretar uma panóplia de problemas, aumentando o tempo de paragem da linha.

Analisando o conceito de bico encostado, é possível constatar que a zona de encosto entre o bico de injeção e a estrutura apresenta uma perda acentuada de temperatura do bico de injeção, o que

não é desejável. Isto provoca a solidificação de Zamak no interior do bico de injeção, causando uma contra saída no gito, Figura 17.

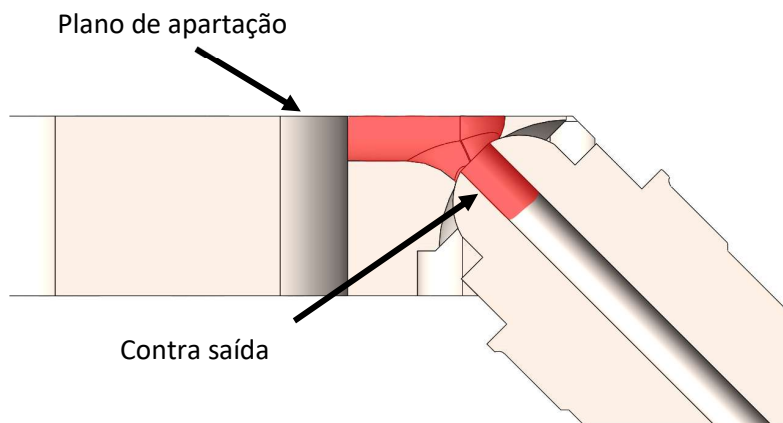


Figura 17 - Conjunto estrutura inferior bico com a zona problemática do gito assinalada a vermelho.

Visto que o diâmetro do canal do bico de injeção é bastante reduzido, com apenas 1.8 milímetros, esta zona é frágil, quando comparada com o restante. Por vezes, a extração da peça pode causar a rotura desta zona no interior do bico, provocando um bloqueio que, por sua vez, causa a falha da injeção seguinte. Quando os técnicos desencostam o bico de injeção da estrutura, estes permitem que o bico recupere a temperatura perdida para a estrutura. Com o aumento da temperatura, o Zamak que solidificou dentro do bico volta a fundir, eliminando o bloqueio. Para contrariar esta tendência, os operadores têm vindo a aumentar a temperatura das resistências. Isto dá origem a outros problemas, como a remoção do tratamento térmico dos componentes de injeção, devido às temperaturas elevadas, o que leva a um desgaste prematuro dos componentes, e também à redução do tempo de vida das resistências, que funcionam continuamente a temperaturas muito próximas do seu limite de trabalho.

3.3. Principais Requisitos impostos

Ao longo do projeto, foi necessário ter em consideração alguns requisitos, uns impostos à partida pela empresa, outros impostos indiretamente pelo próprio processo de fundição em câmara quente, implementado na fábrica.

Os requisitos impostos pela empresa foram os seguintes:

- A extremidade do bico de injeção tem de ser esférica, com raio 3 milímetros. Isto deve-se ao modo pelo qual é feita a aproximação da estrutura ao bico, e alterar este fator seria extremamente dispendioso.
- Utilizar a estrutura atual, que possui um gito bastante mais reduzido que o anteriormente utilizado na fábrica, diminuindo deste modo a sucata produzida.
- Manter o conceito de bico sempre encostado, com o intuito de diminuir o consumo de peças de desgaste, como é o caso dos bicos de injeção e a estrutura.

- Garantir o bom funcionamento da máquina.

Os requisitos impostos pelo próprio processo são:

- O material utilizado para o fabrico dos componentes necessita de resistir à perda de dureza acima dos 600°C, de modo a resistir à abrasão causada pelo escoamento de Zamak.
- A área de contacto entre o bico e a estrutura tem de ser o mais reduzida possível, de modo a reduzir as perdas de calor por condução. Por esse motivo, pretende-se que o contacto seja apenas uma linha.

3.4. Estudos Preliminares

Seguindo a metodologia DSR, procedeu-se ao estudo de possíveis soluções para o problema anteriormente descrito. Neste subcapítulo estudou-se a viabilidade de diversos conceitos no ambiente empresarial atual.

Mudança do ângulo de admissão

Como já foi referido, no conceito atual implementado na fábrica, a admissão do Zamak na estrutura é realizada a 45°, provocando uma contra saída, visto que esta se encontra abaixo do plano de apartação do molde. Com o intuito de eliminar esta contra saída, partiu-se para o estudo de um novo conceito, no qual a admissão de Zamak é efetuada perpendicularmente ao plano de apartação. Iniciou-se este processo por realizar um estudo mais detalhado dos componentes da máquina de injeção diretamente relacionados com a zona de admissão, com o intuito de perceber quais as limitações impostas pela própria máquina, e desenvolver em função dessas limitações.

A primeira abordagem estudada foi a possível implementação de uma bomba que efetuasse a admissão perpendicularmente ao plano de apartação. Desenvolveram-se dois conceitos diferentes, Figura 18, acabando os dois por serem descartados. Estes conceitos não se tornaram viáveis, pois a sua implementação na fábrica iria requerer extensas alterações nas máquinas para conseguir acomodar estas bombas. Tendo em consideração que todas as alterações correspondem a um custo, estas iriam traduzir-se num investimento de elevadas dimensões, não só pela complexidade das alterações a realizar, mas também devido ao elevado número de máquinas em utilização na fábrica.

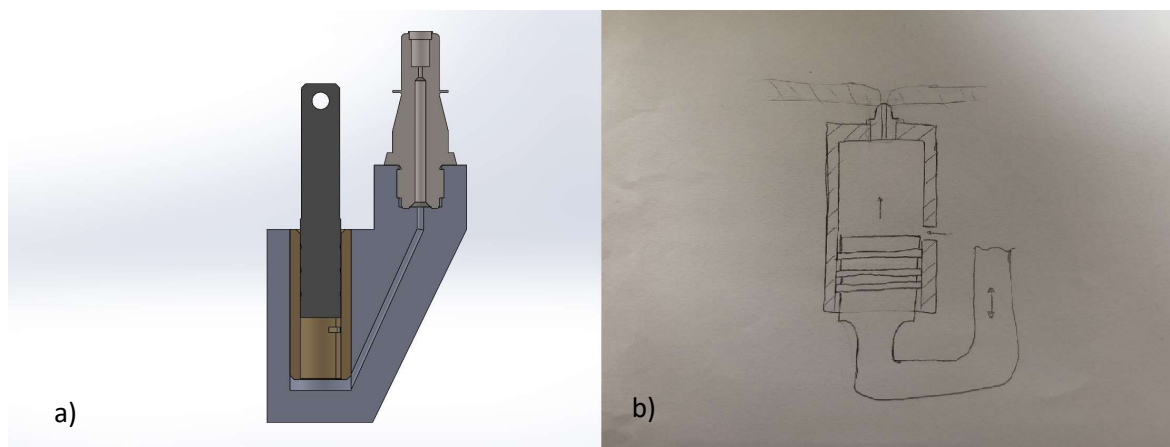


Figura 18 - a) Ideia de bomba 1; b) Ideia de bomba 2

A segunda abordagem passou por desenvolver algo que permitisse que a admissão fosse realizada na vertical, mantendo a bomba atualmente utilizada. Esta alteração poderia passar por dois componentes, o bico e a ponteira. Começou-se por estudar novos conceitos de ponteiras. Na Figura 19 é possível observar dois dos conceitos ponderados. O primeiro conceito foi descartado, pois o acoplamento entre a ponteira e a bomba era roscado. Isto iria tornar extremamente difícil garantir que a ponteira ficasse na orientação pretendida, uma vez que as ponteiras são fabricadas por uma entidade externa. Outro problema deste conceito foi o facto de o mesmo não possuir as características geométricas necessárias para conseguir fazer o acoplamento à estrutura, visto que tanto a posição da bomba como a posição final da estrutura são fixas. Tendo em conta os problemas da primeira ponteira, projetou-se uma segunda na tentativa de os resolver. Nesta, optou-se por um acoplamento cónico entre a ponteira e a bomba, eliminando desta forma a ligação roscada. De seguida, prolongou-se a zona a 45°, de modo a tornar possível o acoplamento na estrutura. No entanto, isto provocou outro problema, devido à mudança de direção no corpo da ponteira: a montagem da resistência na mesma tornou-se impossível. Devido às dificuldades sentidas, mudou-se o foco para o desenvolvimento do bico. Utilizando as lições aprendidas no desenvolvimento da ponteira, chegou-se a um novo conceito de bico de injeção, o qual está representado na Figura 20.

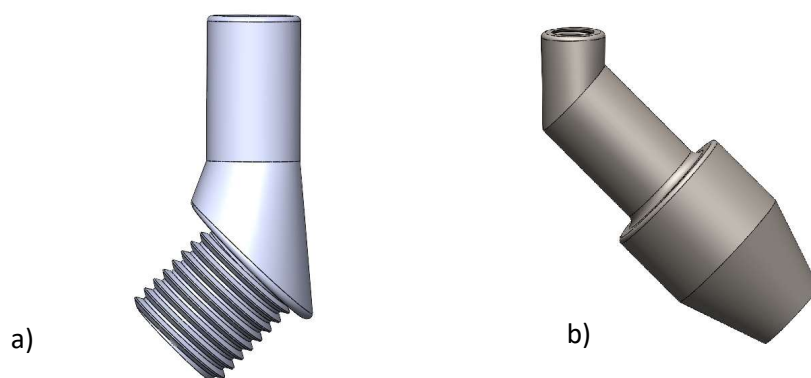


Figura 19 - a) Ideia de Ponteira 1; b) Ideias de Ponteira 2.

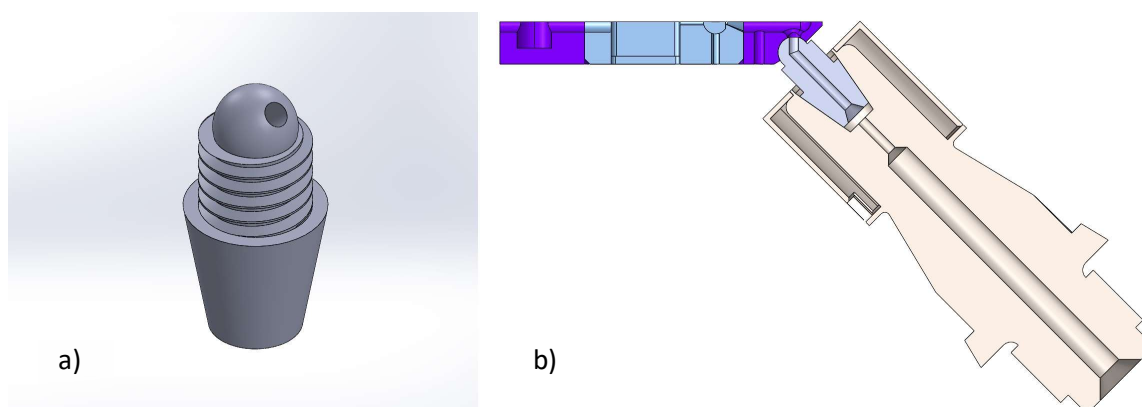


Figura 20 - a) Bico de injeção; b) Montagem do sistema.

Algumas das características principais deste bico passam por: acoplamento cónico entre a ponteira e o bico, de modo a garantir a orientação pretendida; zona roscada no bico para possibilitar a extração da ponteira; mudança de direção do furo para garantir a admissão na vertical, e raio de 3 milímetros na extremidade do bico. Para garantir o funcionamento deste conceito de bico, foram realizadas algumas alterações aos componentes que interagem diretamente com o mesmo. À ponteira atual, alterou-se o encaixe do bico de roscado para cónico, e à estrutura do molde foi modificada a zona de encosto do bico, de modo a garantir a admissão na vertical. Tomando este conceito como promissor, procedeu-se ao fabrico e ensaio do mesmo. Foram fabricados bicos em dois materiais: aço AISI H13 temperado e nitrurado e aço inoxidável AISI 316.

Para ensaiar este conceito, utilizou-se uma máquina destinada a este propósito, que replica as máquinas utilizadas na produção. Após a montagem, efetuou-se a afinação da máquina. Esta passa não só por garantir o correto alinhamento entre o bico e a estrutura, mas também a pressão de encosto entre os mesmos. Neste processo, sentiu-se alguma dificuldade em garantir o alinhamento do furo do bico com a estrutura, visto que o acoplamento entre o bico e a ponteira era cónico e não garantia que o furo ficasse na vertical, sendo necessário um cuidado acrescido na sua montagem. Uma vez afinada a máquina, foi possível proceder ao ensaio. Para testar a viabilidade deste conceito em ambiente de produção, realizou-se o ensaio de modo a replicar as condições sentidas na fábrica. Os parâmetros utilizados durante o ensaio são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros da máquina utilizados no ensaio

Pressão de Injeção	5 bar
Tempo de Arrefecimento	0,10 segundos
Tempo de Enchimento	0,35 segundos
Temperatura da Resistência	600°C
Temperatura do Zamak	430°C

A utilização deste conceito apresentou dois problemas que foram fulcrais em invalidar o uso do mesmo em ambiente empresarial. Notou-se, à partida, que passadas 40 injeções, no bico em AISI 316, o acoplamento cónico entre o bico e a ponteira deixou de vedar. Na Figura 21 é possível observar a infiltração do Zamak no contacto entre o bico e a ponteira, bem como a fêmea que se utilizou para retirar o bico. Os problemas de estanquicidade fizeram-se sentir em todos os bicos, independentemente do material, sendo que o bico em AISI 316 aguentou mais injeções sem que o Zamak passasse. Este fenómeno deve-se ao facto de o aço inoxidável apresentar uma dureza inferior ao aço AISI H13, logo a superfície cónica do bico conformou-se à superfície cónica da ponteira, devido à pressão de encosto do bico com a estrutura. No entanto, este fator não foi suficiente para vencer a pressão de injeção e a alta fluidez do Zamak fundido. No processo de afinação da máquina, devido à menor dureza do AISI 316, os bicos ensaiados neste material sofreram deformação plástica, pondo em causa o seu bom funcionamento. Para além deste problema, o bico não tinha capacidade de manter a temperatura necessária para que o Zamak não solidificasse dentro do mesmo, Figura 22. Isto provocou uma contra saída, agravada pelo cotovelo no interior do canal do bico, que dificultava a extração da peça. Pelos motivos indicados, este conceito foi descartado.



Figura 21 - Bico após ensaio.



Figura 22- Gito preso no molde devido à contra saída.

Parâmetros das máquinas de injeção

Em simultâneo, decidiu-se efetuar um estudo relativo à influência dos parâmetros das máquinas na contra saída do gito. Para tal, realizaram-se recolhas diárias de gitos de seis máquinas diferentes, classificando-os como conformes ou não conformes, Figura 23, e anotaram-se os parâmetros considerados importantes para a correta injeção de Zamak.



Figura 23- a) Gito não conforme com contra saída; b) Gito conforme; c) Gito não conforme com vazios.

Os parâmetros que se tiveram em consideração foram os seguintes: tempo de enchimento; tempo de arrefecimento; temperatura da resistência; temperatura do Zamak no cadinho; temperatura ambiente e pressão da bomba. Na Tabela 6 está indicado o conceito de cada máquina, e associada uma imagem do gito correspondente. À partida, idealizou-se realizar as recolhas ao longo de um período de 30 dias. No entanto, devido à paragem perlongada de algumas linhas que resultou num espaço amostral reduzido, optou-se por estender o período de recolha para 57 dias.

Tabela 6 - Identificação das máquinas o seu conceito de funcionamento e o gito correspondente.

Máquina	Tipo	Imagem do gito correspondente
1	Bico encostado	
2	Bico encostado	
3	Bico encostado	
4	Bico desencostado	
5	Bico desencostado	
6	Bico desencostado	

Para garantir que as condições permaneceram as mesmas ao longo do estudo, seguiu-se o procedimento indicado. As recolhas dos gitos e dos parâmetros foram realizadas todos os dias às mesmas horas, e foram recolhidos 20 gitos de forma aleatória de cada uma das máquinas.

Posteriormente, foi feita a categorização dos gitos. Estes foram armazenados com a data e identificação da máquina para futura referência, de modo a manter tanto quanto possível o critério na classificação dos mesmos. Na Tabela 7 é apresentado um excerto dos dados recolhidos, em que: a coluna “dia” corresponde à data em que foram recolhidas as amostras, sequencialmente; Ench., Arref. e Pres. diz respeito a tempo de enchimento, tempo de arrefecimento e pressão de injeção respetivamente; Temp. Resist. e Temp. Cad. corresponde à temperatura da resistência e à temperatura ambiente sentida nesse mesmo dia; por fim G.C., G.N.C.S. e G.N.C.V. significam gito conforme, gito não conforme com contra saída e gito não conforme com vazios, respetivamente. Para consulta dos resultados na integra, ver Apêndice A.

Tabela 7 - Parâmetros recolhidos da máquina 5 e classificação dos respetivos gitos.

Dia	Ench. [s]	Arref. [s]	Pres. [bar]	Temp. resist. [°C]	Temp. Cad. [°C]	Temp. amb. [°C]	G. C. [%]	G.N.C.S [%]	G.N.C.V [%]
16	0,25	0,15	4,5	595,5	439	14,4	67	33	0
17	0,25	0,15	4,5	596	437,5	12,9	65	20	15
18	0,25	0,15	4,5	594	440,5	16,21	40	50	10
19	0,25	0,15	4,5	594,5	441	14,13	59	41	0
20	0,25	0,15	4,5	594	436	14,86	80	15	5
21	0,25	0,15	4,5	594	437	9,01	50	0	50
24	0,25	0,15	4,5	594	440	14,14	45	15	40
25	0,25	0,15	4,5	593,5	438	15,14	45	30	25
37	0,25	0,15	4,5	595	439	14,07	50	0	50

Como é possível observar nos dados acima apresentados, existe uma grande variação da percentagem de gitos conformes ao longo do tempo. No entanto, os parâmetros recolhidos permanecem inalterados, à exceção da temperatura da resistência. Este fenómeno deve-se à sensibilidade deste processo a fatores externos como: fugas de ar ou água, por vezes impercetíveis numa primeira análise, na zona do bico de injeção; a cadência a que os operadores conseguem injetar os terminais e o próprio estado de conservação dos componentes. Todos estes fatores externos tiveram influência nos resultados obtidos, visto que o processo de injeção de Zamak é extremamente sensível a variações de temperatura. Por este motivo, não se conseguiu chegar a uma conclusão. No entanto, foi possível observar que com a descida da temperatura ambiente, existiu uma tendência transversal na fábrica por parte dos operadores e técnicos em aumentar a temperatura da resistência. Este fenómeno leva a crer que a temperatura da resistência tem um papel importante no comprimento da contra saída e, por sua vez, no número de falhas de injeção.

Família de materiais alternativa e Revestimentos

Por fim, numa tentativa de reduzir as perdas de calor, investigou-se a possibilidade da utilização de materiais com características térmicas que permitissem isolar o Zamak, com o intuito deste permanecer no estado líquido. Para tal, optou-se por estudar duas abordagens diferentes, mas com o mesmo propósito: o fabrico dos componentes de injeção, nomeadamente o bico e a estrutura, em materiais com baixa condutividade térmica; e o revestimento destes mesmos componentes, no entanto mantendo o material de base atualmente utilizado.

Seguindo a abordagem de alterar o material dos componentes de injeção, certas famílias de materiais foram eliminadas à partida, pelo facto de as propriedades físicas dos mesmo não serem compatíveis com o processo de fabrico aplicado, seja devido às elevadas temperaturas sentidas, ou até mesmo aos esforços aplicados nos componentes. Desta forma, reduziu-se a lista de materiais a duas possíveis famílias, sendo estas os metais e os cerâmicos. Os metais, tendo uma resistência mecânica favorável, foram os primeiros a serem ponderados. No entanto, estes possuem uma elevada condutividade térmica, o que afeta negativamente o processo. Não obstante, partiu-se à

procura de um metal que tivesse uma condutividade térmica abaixo da média, e que resistisse ao desgaste causado pelo escoamento do Zamak no canal de injeção. O metal que satisfaz estes requisitos foi o AISI 316. Este é um aço inox inoxidável austenítico, que tem uma elevada resistência à oxidação a elevadas temperaturas, possui também uma condutividade térmica de 15 W/mK a uma temperatura de 20°C, que é consideravelmente mais baixa do que o AISI H13 atualmente utilizado, 25 W/mK, para a mesma temperatura, ANEXO A. Tomando o AISI 316 como promissor, efetuou-se um bico de injeção neste material, bico utilizado no ensaio descrito no subcapítulo 3.4. No final do ensaio, concluiu-se que este material não possui a dureza necessária para resistir ao processo, tendo este sofrido deformação plástica logo no processo de afinação do bico à estrutura inferior. Esta deformação deu-se na zona de encosto. Pensa-se que possa ter tido o efeito contrário ao pretendido, uma vez que aumentou a área de contacto entre os dois elementos, promovendo a transferência de calor entre o bico e a estrutura. Deste modo, o foco passou para os materiais cerâmicos. Estes são materiais com elevada dureza, baixa condutividade térmica e elevada resistência a ataques químicos. Por estes motivos, estudou-se mais aprofundadamente a utilização destes no sistema de injeção. Após algum tempo a acompanhar o processo de injeção de Zamak na fábrica, percebeu-se que tanto no conceito rotativo como no conceito de bico encostado, o bico sofre inevitavelmente impacto, sendo que no sistema rotativo o impacto é a cada ciclo, e no bico encostado é apenas na afinação da máquina. Sabendo que os materiais cerâmicos têm baixa resistência a este tipo de solicitações, e que facilmente sofre fissuração, o fabrico de elementos do sistema de injeção nestes materiais foi descartado.

Pensou-se ainda recorrer a um revestimento *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF), pelo facto de estes serem metálicos e não cerâmicos. Esta técnica de revestimentos consiste na projeção de partículas fundidas a uma velocidade de 300 a 800 metros por segundo, com uma mistura de oxigénio e combustível sobre a superfície que se pretende cobrir, a uma temperatura que ronda os 3000°C. Este é um processo maioritariamente utilizado na indústria marítima, aeronáutica e petroquímica, com o intuito de aumentar a resistência dos equipamentos à corrosão e ao desgaste abrasivo [49]. No entanto, para além destes revestimentos melhorarem as propriedades mecânicas dos componentes, têm também uma baixa condutividade, sendo que existem estudos nos quais conseguiram alcançar condutividades térmicas de 2,66 W/mK [50]. A utilização destes revestimentos poderia ser benéfica em diferentes vertentes. Após alguma investigação e análise do caso em estudo, também se chegou à conclusão de que este processo iria ser complicado de implementar, devido à aplicação do revestimento em peças com geometria complexa não ser fácil [51]. Para além disso, o tempo de vida iria ser comprometido, devido à longa exposição a elevadas temperaturas, estes revestimentos formam uma camada de óxidos entre o substrato e o revestimento, que aumenta com a exposição a elevadas temperaturas, o que mais tarde leva a falha do revestimento. Estes revestimentos, por norma, também têm um comportamento frágil, o que tendo em conta as condições de funcionamento do mecanismo, pode pôr em causa o revestimento. Por estes motivos, optou-se por não avançar com esta ideia [52].

3.5. Estudo e Implementação de um novo sistema

Neste subcapítulo realiza-se o anteriormente intitulado no subcapítulo 1.3 como estudo das soluções/ projeto, seguindo deste modo a metodologia DSR.

Considerando as lições aprendidas nos estudos preliminares realizados, e estando familiarizado com o processo, o passo seguinte passou pela otimização do sistema pretendido, conceito de bico encostado. Com o intuito de reduzir o custo de prototipagem, foi utilizado o *Solidworks*®, ferramenta CAD, para construir um modelo do sistema de injeção, a partir do qual viria a ser possível realizar diversas simulações. Este inclui todos os componentes em torno da zona mais crítica; encosto entre o bico e a estrutura, sendo estes: bico de injeção; ponteira de injeção; resistência e proteção da mesma; estrutura do molde superior e inferior e molde, Figura 24.

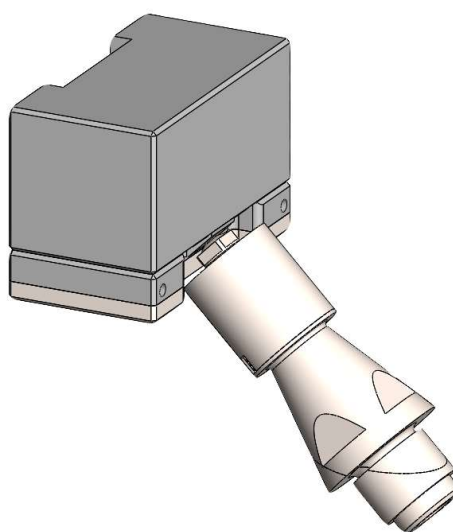


Figura 24 - Montagem dos componentes utilizados no estudo.

Para tornar possível a simulação e reduzir o tempo da mesma, foram realizadas algumas simplificações na construção do modelo, como a remoção de todos os componentes que não afetam diretamente o sistema de injeção. Também se fez uma adaptação à ponteira, com o intuito de simular a parte da mesma que está submersa no Zamak líquido. Dividiu-se a ponteira em duas partes, e à de baixo atribui-se a temperatura de 430°C, igualando a temperatura do Zamak no cadinho. Devido a algumas limitações do *software*, foram retiradas as ligações roscadas entre o bico e a ponteira, assumiu-se que o contacto era apenas feito por duas superfícies cilíndricas; a condutividade térmica dos materiais varia com o aumento da temperatura. No entanto, no modelo utilizou-se um valor constante para cada um dos materiais. A última simplificação que se realizou foi a resistência, sabendo que a potência da mesma não é constante ao longo de todo o seu comprimento. Para efeitos de simulação, utilizou-se uma temperatura constante para a resistência. Os materiais atribuídos aos componentes foram os utilizados atualmente em fábrica. Os catálogos dos mesmos encontram-se no ANEXO A.

Após construído o modelo, utilizou-se a ferramenta *Solidworks*® *Flow Simulation*, integrada no *Solidworks*®. Esta foi selecionada pois possui a capacidade de incluir na simulação térmica transferência de calor por condução, convecção e radiação. Posto isto, a fim de proceder às

simulações, foi necessário definir todas as condições de fronteira. Na Tabela 8 e Tabela 9 são apresentadas as definições da malha, e na Figura 25 é possível observar a malha gerada com essas mesmas definições. Na Tabela 10 estão definidas as condições físicas assumidas para cada um dos elementos do sistema de injeção: material; condutividade térmica e temperatura

Tabela 8 - Definições utilizadas para a Global mesh.

Global Mesh settings	
Type	<i>Automatic</i>
Settings	
Level of initial mesh	7
Ratio factor	3.5
Advanced channel refinement	Selecionado

Tabela 9 - Definições utilizadas para a Local mesh 1.

Global coordinate System	
Cuboid	
Refining cells	
Level of refining fluid cells	2
Level of refining solid cells	3
Level of refining at fluid/solid boundary	3
Channels	
Characteristic Numbers of cells across channel	20
Maximum channel refinement level	2
Advanced Refinement	
Small solid feature refinement level	2
Curvature level	2
Tolerance level	2

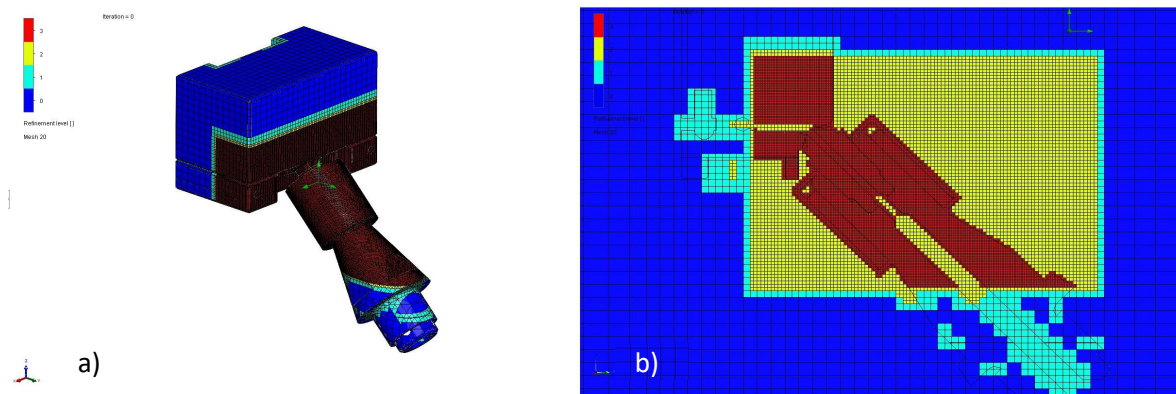


Figura 25 - a) Vista da malha nos sólidos; b) Vista em corte da malha.

Após verificado que a malha tinha um refinamento satisfatório nas zonas críticas, passou-se para a definição das resistências térmicas de contacto entre os diversos elementos do sistema de injeção. Sentiu-se grande dificuldade em definir as mesmas, devido à complexidade do caso em estudo e à falta de dados para o cálculo das mesmas. Posto isto, os valores utilizados para a resistência térmica de contacto foram baseados em artigos científicos publicados sobre esta temática - transferência de calor. Assumindo que os valores da condução térmica de contacto para o aço AISI H13 variam entre 0.75 e 9 kW/m²K consoante a pressão de contacto, rugosidade e temperatura [53],[54], foram seleccionados valores de condução térmica de contacto dentro desse intervalo, adaptando-se às condições sentidas na máquina. Contactos com pressões menores correspondem a uma resistência térmica de contacto maior, enquanto se a pressão de contacto entre dois componentes for maior, a resistência térmica de contacto vai ser menor. Usando este princípio, assumiu-se uma condução térmica de contacto entre o bico e a ponteira de 4 kW/m²K, e de 1,1 kW/m²K para os restantes componentes, visto que estes estão em contacto, mas não sofre pressões significativas. Sabendo que a resistência térmica de contacto é o inverso da condução térmica de contacto, significa que se têm 0,00025 m²K/W e 0,0009 m²K/W, respetivamente.

Tabela 10 - Características dos componentes utilizados (incluir referencias).

Componentes	Material	Condutividade Térmica [W/m·K]	Temperatura [K]
Bico	AISI H13	29	-
Ponteira cima	AISI H13	29	-
Ponteira baixo	AISI H13	29	703,15
Resistência	AISI316	15	873,15
Copo	AISI 316	15	-
Base estrutura	AISI D2	23	353,15
estrutura Inferior	AISI D2	23	-
Estrutura Superior	AISI D2	23	-
Molde	AISI D2	23	-

Por fim, definiram-se os objetivos da simulação, ou seja, as metas para as quais este método de cálculo converge. Selecionaram-se os seguintes *goals*: *GG Average Temperature (Fluid)* 1; *GG Average Total Temperature* 2; *GG Average Heat Transfer coefficient* 4; *GG Average Heat Flux* 5; *GG Average Temperature (Solid)* 11. O mais relevante para o objetivo deste trabalho é a *Average Temperature (Solid)*, sendo que é este que indica a temperatura dos sólidos num dado ponto.

Nestas simulações, o foco incidiu sobre a componente geométrica dos constituintes do sistema de injeção, de forma a obter a combinação geométrica mais favorável. O objetivo é ter uma maior temperatura ao longo do comprimento do canal de injeção do bico, eliminando o risco de falhas de injeção por solidificação do Zamak no mesmo. Estando o modelo definido, seguiu-se um processo iterativo com o objetivo de melhorar o sistema, de modo a reter uma maior quantidade de calor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Apresentação de Resultados

Neste subcapítulo, vão ser apresentados os resultados obtidos nas simulações pelo processo iterativo mencionado no capítulo anterior, estes conduziram à solução final implementada na empresa, indo assim de encontro à metodologia DSR pela qual se rege este trabalho.

1ª Simulação

A primeira simulação foi realizada com o propósito de estabelecer um conjunto de dados utilizados como referência, de modo a tornar perceptível se as alterações efetuadas têm um impacto positivo ou negativo ao longo do processo. Para a realização desta, fez-se uso das definições estabelecidas no Capítulo 3.5, e utilizaram-se os componentes originais do sistema de bico encostado atualmente implementado na fábrica.

Para tornar possível a medição e comparação das temperaturas ao longo do bico de injeção das diversas simulações, foram realizados pontos de medição no interior do canal de injeção do mesmo, com um espaçamento de 0,5 milímetros, iniciando na extremidade do bico de injeção, como é possível observar na Figura 26. Foram efetuados doze pontos, resultando num comprimento de 5,5 milímetros. O motivo pelo qual se optou por este comprimento deve-se ao facto de incluir a zona de transição do estado líquido para o estado sólido. Esta dá-se à temperatura de 385°C ou seja 658,15K. Deste modo, é possível perceber se esta se desloca para a extremidade do bico com o decorrer das iterações, reduzindo a contra saída. Este método foi realizado para todas as simulações. Os resultados desta simulação e que foram utilizados como referência para as restantes estão demonstrados na Tabela 11.

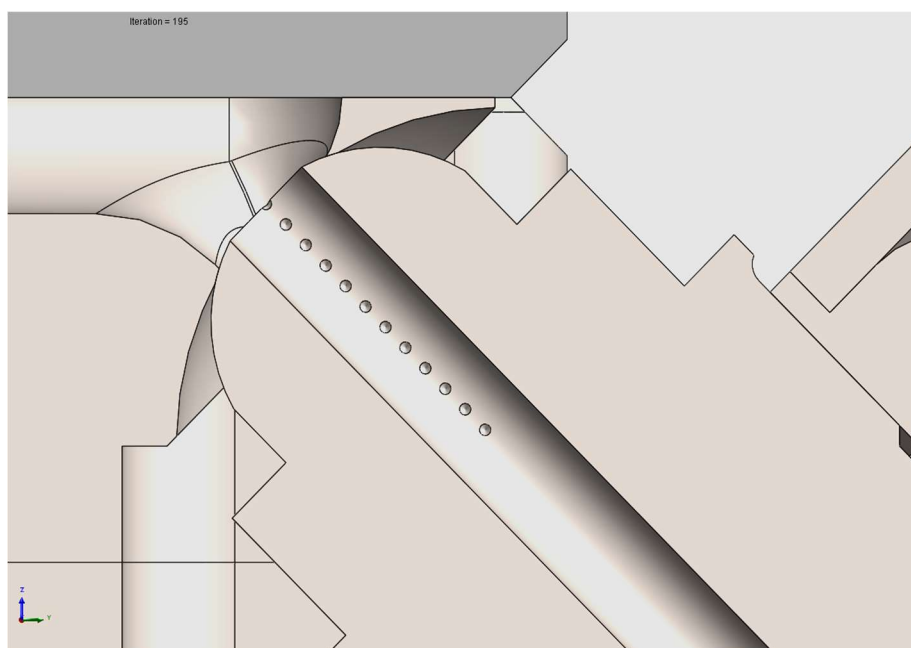


Figura 26 – Pontos de medição realizados no bico para tirar valores da temperatura.

Tabela 11 - Resultados da 1ª Simulação.

Distância à extremidade do bico [mm]	Temperatura [K]
5,5	760,29
5	752,65
4,5	743,83
4	733,64
3,5	721,77
3	708,12
2,5	692,83
2	675,66
1,5	655,85
1	632,09
0,5	605,34
0	593,07

Sabendo a temperatura de solidificação do Zamak, foi possível observar que este iria ter tendência a solidificar a 1,5 milímetros da extremidade do bico, causando a contra saída várias vezes mencionada até ao momento, como se pode verificar na Tabela 11. Na Figura 27 está representada a distribuição de temperatura em todo o espaço amostral da simulação.

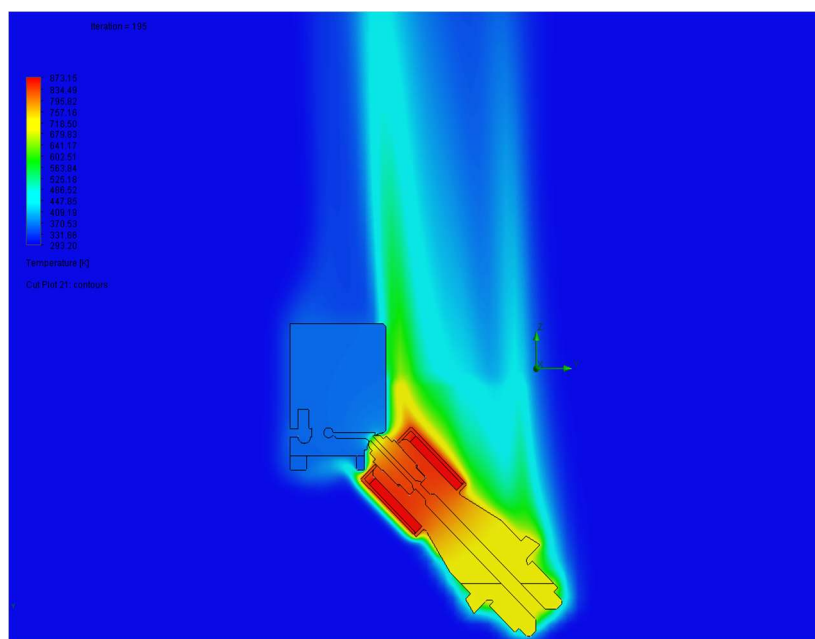


Figura 27 - Distribuição de temperaturas no sistema.

2ª Simulação

Na segunda simulação, na tentativa de diminuir as perdas de calor para o exterior, acrescentou-se material na extremidade do bico, Figura 28, fazendo com que o calor ficasse retido no bico reduzindo as perdas por convecção para o exterior. É possível observar na Tabela 12 os resultados desta simulação.

É importante referir que as alterações do bico de injeção foram sempre condicionadas pelas limitações geométricas do sistema de injeção. Esta foi a única alteração efetuada em relação à simulação anterior.

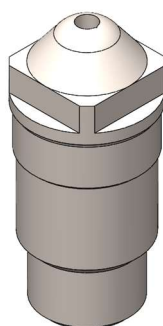


Figura 28 - Bico utilizado na 2ª Simulação

Tabela 12 - Resultados da 2ª simulação.

Distância à extremidade do bico [mm]	Temperatura [K]
5,5	758,52
5	751,90
4,5	744,60
4	736,52
3,5	727,34
3	716,66
2,5	704,08
2	688,84
1,5	669,93
1	645,97
0,5	618,26
0	605,46

3ª Simulação

Na segunda simulação, observou-se que a estrutura fria, quando comparada com o bico, envolvia a extremidade do mesmo. Posto isto, retirou-se essa zona da mesma e manteve-se o bico utilizado na simulação anterior, Figura 29, os resultados desta alteração encontram-se na Tabela 13.

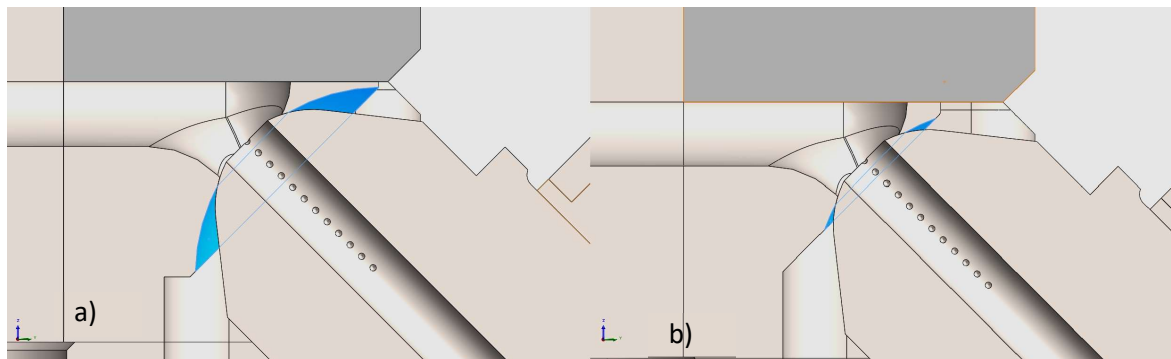


Figura 29 - a) Zona de encosto original; b) Zona de encosto com estrutura reificada.

Tabela 13 - Resultados da 3ª simulação

Distância à extremidade do bico [mm]	Temperatura [K]
5,5	761,70
5	755,27
4,5	748,19
4	740,33
3,5	731,38
3	720,94
2,5	708,59
2	693,56
1,5	674,80
1	650,90
0,5	623,13
0	610,27

4ª Simulação

Para a quarta simulação, efetuou-se uma retrospectiva do historial de bicos de injeção na empresa. Notou-se que ao longo dos anos, as versões dos bicos têm vindo a ficar cada vez mais curtas. Este fenómeno, que ocorreu sem que as pessoas responsáveis pelo desenvolvimento destes bicos dessem muita importância, e o facto de os bicos mais curtos funcionarem melhor, faz todo o sentido. Assumindo que a fonte de calor é a resistência, este vai dispersar-se, nomeadamente para a extremidade do bico. Ao reduzir o comprimento do mesmo, as perdas de calor por condução vão ser menores, o que na teoria provoca um aumento de temperatura na extremidade do bico, eliminando a solidificação de Zamak no interior do mesmo.

Nesta simulação, reduziu-se ao máximo o comprimento do bico, mantendo tanto material quanto possível, visto que é benéfico, como comprovado na 2ª simulação. Para cumprir o requisito imposto pela empresa no início deste trabalho, foi necessário acrescentar material na zona de encosto da estrutura, para compensar o comprimento retirado ao bico. Estas alterações estão ilustradas na Figura 30. Na Tabela 14 é estão apresentados os valores das temperaturas desta simulação.

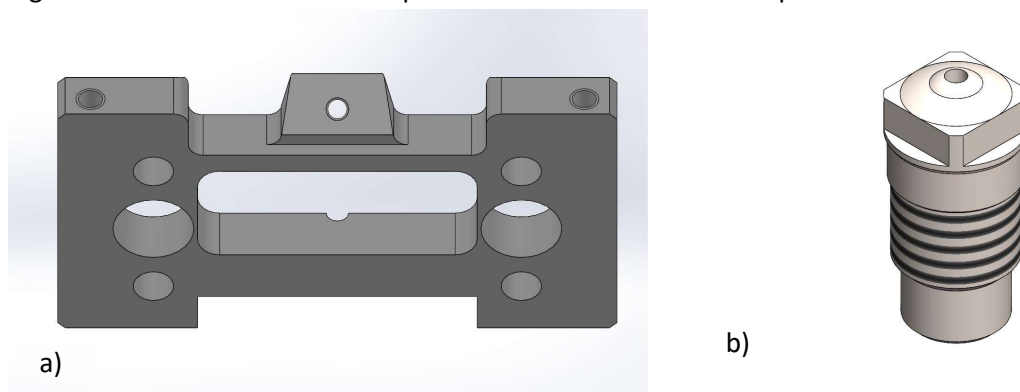


Figura 30 - a) Estrutura inferior final; b) Bico final.

Tabela 14 - Resultados da 4ª simulação.

Distância à extremidade do bico [mm]	Temperatura [K]
5,5	799,12
5	794,75
4,5	789,94
4	784,62
3,5	778,70
3	771,88
2,5	763,71
2	753,37
1,5	739,31

1	719,27
0,5	692,69
0	681,52

5ª e 6ª Simulação

Com o intuito de verificar que o diâmetro do canal de injeção atualmente utilizado era de facto ideal em termos de eficiência térmica, 1,8 milímetros, efetuou-se uma simulação na qual se reduziu o diâmetro do canal para 1,5 milímetros, e outra exatamente nas mesmas condições, no entanto com um diâmetro do canal de injeção de 1,9 milímetros. O diâmetro máximo do canal é restringido pelo diâmetro do furo na qual se dá a entrada de Zamak no sistema de gitagem, sensivelmente 2,5 milímetros. É importante garantir que exista alguma margem entre os dois diâmetros, para permitir a afinação da máquina. Os resultados da 5ª e 6ª simulação encontram-se na Tabela 15

Tabela 15 - Resultados da 5ª e 6ª simulação.

Distância à extremidade do bico [mm]	Temperatura [K] da 5ª Simulação	Temperatura [K] da 6ª Simulação
5,5	785,92	789,63
5	780,55	785,02
4,5	775,56	780,01
4	769,83	774,53
3,5	763,13	768,43
3	755,40	761,50
2,5	746,41	753,32
2	720,43	743,20
1,5	736,11	729,94
1	701,94	711,18
0,5	681,05	687,55
0	675,68	676,31

Foi ainda considerado realizar o bico e a ponteira numa peça só, de modo a eliminar as resistências de contacto entre estes. No entanto, não se prosseguiu com este conceito, pois iria implicar que sempre que a extremidade de encosto à estrutura fosse danificada, iria ser obrigatório retirar todo o conjunto. Isto iria implicar num tempo de intervenção maior e um custo acrescido dos componentes, uma vez que o fabrico apenas do bico apresenta um custo inferior. Tomando a quarta simulação como promissora, procedeu-se ao fabrico do bico e estrutura deste novo conceito, e escolheu-se uma máquina para os aplicar.

4.2. Discussão de Resultados

Seguindo a metodologia utilizada ao longo do trabalho, DSR, neste subcapítulo é realizada uma análise da solução final e implementada na instituição.

Começou-se por implementar o conceito de bico e estrutura anteriormente referido numa linha, com o intuito de o validar. A montagem do mesmo deu-se sem qualquer percalço e sem alterações significativas à máquina, apenas afinações. Este era um dos requisitos inicialmente imposto pela organização, a fim de reduzir os custos de implementação deste novo conceito.

Parâmetros da linha e Comparação entre as simulações e a realidade

Após a montagem, procedeu-se ao ajuste de parâmetros. Um dos focos foi diminuir a temperatura da resistência, com o intuito de aumentar o tempo de vida dos componentes. Com temperaturas mais baixas, o tratamento térmico de têmpera e revenido, assim como a camada nitrurada, apresentam um maior tempo de vida útil, até começarem a perder propriedades. Foram testadas diversas temperaturas, para tentar perceber o limite térmico deste conceito. Chegou-se ao consenso de que a 560°C, temperatura da resistência, a máquina funcionava corretamente, sem falhas de injeção. Os restantes parâmetros permaneceram inalterados, indicados na Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros inalterados na máquina.

Tempo de Enchimento	0,25 segundos
Tempo de Arrefecimento	0,25 segundos
Pressão	4,7 bar

Tabela 17 - Temperatura da resistência antes e depois da implementação do novo conceito.

	Antes	Depois
Temperatura [°C]	615	560

Como ilustrado na Tabela 17, foi possível baixar a temperatura da resistência 55°C, trazendo a temperatura para baixo dos 600°C, e mantendo o correto funcionamento. Este feito, não só é benéfico para os componentes, como o bico e ponteira, como mencionado anteriormente, mas também aumenta substancialmente o tempo de vida da resistência. O curto tempo de vida das resistências era outro problema que se estava a sentir na empresa. As resistências possuem uma sonda do tipo J integrada e, acima dos 600°C, estas estão a funcionar bastante perto do seu limite teórico, 650°C. Deste modo, pode-se afirmar que trabalhar a temperaturas mais baixas, mantendo o correto funcionamento, é benéfico em inúmeros sentidos; prolonga o tempo de vida dos equipamentos e o consumo de energia é menor.

Para validar o modelo teórico, estudou-se a possibilidade de realizar uma análise termográfica com o intuito de ter a perceção da distribuição de temperaturas no sistema de injeção de Zamak, e assim comparar com as obtidas pela simulação do modelo teórico. Devido à elevada cotação obtida para realização deste serviço por uma entidade externa, a organização entendeu que esta não trazia um valor acrescido que justificasse o investimento, uma vez que o novo conceito implementado

cumpria todos os requisitos previamente estabelecidos, e estava a funcionar corretamente. Posto isto, a título de validar o modelo teórico sem afetar a produção, procedeu-se à medição da temperatura na extremidade do bico com uma sonda do tipo k. Tentou-se medir a temperatura a sensivelmente 1 milímetro da extremidade do bico. Na Tabela 18 estão apresentados os resultados obtidos.

Tabela 18 - Comparação das temperaturas reais com as da simulação.

	Temperatura da resistência [°C]	Temperatura a 1 milímetro da extremidade do bico [°C]	Diferença [°C]
4ª Simulação	560	403,08	156,92
Real	560	390	170

Analisando os resultados previamente apresentados, é possível observar que a simulação apresenta menos perdas do que a realidade, sendo que a diferença de temperatura da resistência para o ponto a 1 milímetro da extremidade é de apenas 156,92°C, enquanto na máquina se verificou uma diferença de 170°C. Com estes dados, concluiu-se que a simulação tem um erro relativo de 7,69%. Este erro deve-se maioritariamente às simplificações efetuadas no modelo teórico, com o objetivo de tornar possível a sua execução. Sabe-se também que, apesar de se ter tentado ser o mais preciso possível na medição de temperatura a 1 milímetro da extremidade do bico de injeção, não é possível garantir esta cota com exatidão. Outros fatores que influenciam negativamente a máquina de injeção são: o tempo de ciclo; fugas de ar ou água na zona do molde, e o desgaste mecânico nos componentes de injeção. Apesar de todos estes fatores, pode-se afirmar que o modelo teórico cumpriu o seu objetivo, sendo que este refletiu tanto quanto possível a realidade, e permitiu chegar a um conceito altamente benéfico para a organização.

Influência do novo conceito na ocorrência de intervenções não planeadas

No APÊNDICE B, está inserida uma tabela com todas as ordens de trabalho relativas ao sistema de injeção da máquina onde foi instalado o novo sistema, no período de outubro de 2022 a julho de 2023. As ordens de trabalho representam as paragens da máquina devido a falhas no sistema de injeção. É possível constatar que no período acima referido, a máquina esteve um total de 77 horas e 47 minutos parada devido a problemas no sistema de injeção isto representa uma perda de disponibilidade da máquina de 5,2%, prejudicando a produção e a utilização dos recursos humanos. Também neste período de tempo foram utilizados oito bicos e seis resistências, isto traduz-se em 128€ gastos em bicos de injeção e 408€ gastos em resistências, estes valores podem não parecer significativos, no entanto é importante frisar que a empresa possui cerca de 60 máquinas desta natureza. Ao se multiplicar por 60 os valores anteriormente mencionados, estes representam sensivelmente 32160€ num período de oito meses, apenas focando nestes dois componentes, o que representa 4020€ mensais gastos em bicos e resistências.

Sabendo que o bico foi instalado a 30 de maio de 2023, podemos constatar que a máquina apenas esteve parada com problemas no sistema de injeção 2 horas e 30 minutos, sendo que a causa foi a falha da resistência que era reutilizada do conceito anterior, isto traduziu-se apenas numa perda de disponibilidade da máquina de 0,71% o que representa um ganho de disponibilidade de 4,49%.

Estes valores são bastante promissores, uma vez que o bico está há dois meses em funcionamento sem qualquer problema de falhas de injeção, dobro do tempo médio de vida dos bicos utilizados no conceito anterior. No entanto devido ao reduzido tempo que este está em funcionamento, e não se conhecer o tempo de vida deste novo conceito, é difícil quantificar o ganho económico que este irá representar em termos de redução de consumo de componentes de desgaste. Este conceito de bico mais curto veio não só reduzir o tempo de intervenções não planeadas aumentando assim a disponibilidade dos equipamentos bem como reduzir o consumo de componentes de desgaste nomeadamente o bico e a resistência. Conclui-se assim que a OEE da máquina foi significativamente melhorada.

4.3. Trabalhos Futuros

Apesar de o trabalho desenvolvido se ter demonstrado de grande valor para a instituição o desenvolvimento e inovação do processo não pode ficar estagnado. Deste modo neste subcapítulo iram ser inumerados algumas melhorias no processo de injeção a câmara quente da liga de Zamak.

Atualmente, sempre que se verifica necessário trocar o molde ou substituir extratores danificados, o técnico é obrigado a retirar a estrutura inferior por completo desencostando a mesma do bico, quando este volta a montar a estrutura, tem de proceder à afinação da máquina que envolve encostar e desencostar a estrutura várias vezes. Como já foi mencionado o impacto entre o bico e a estrutura reduz significativamente o seu tempo de vida. Posto isto, seria de interesse desenvolver um novo conceito de estrutura inferior, de modo a permitir retirar o molde e os extratores sem que seja necessário retirar por completo a estrutura. Assim o bico iria permanecer encostado reduzindo significativamente a probabilidade de este ficar danificado.

Outro trabalho que poderia ser de interesse económico para a instituição seria isolar termicamente tanto os cadinhos como nas resistências da ponteira. Neste momento tanto o cadinho com o Zamak no estado líquido, como as resistências estão expostas ao ar. Numa empresa que apresenta cerca de 60 máquinas desta natureza a perda de energia por dissipação de calor para o meio circundante é substancial, deste modo a colocação de isolamento nestes componentes poderia vir a reduzir o consumo de energia eléctrica.

5. CONCLUSÃO

5.1. Conclusões finais

Na introdução deste trabalho, foram apresentados três grandes temas: indústria automóvel; projeto de equipamentos e fundição. Relativamente à IA, foi possível analisar os impactos económicos que tanto esta como a indústria de componentes têm em Portugal e no mundo. Verificou-se que estas são responsáveis por transações de elevadas quantias, em parte devido ao volume de produção, e assim criando inúmeros postos de trabalho. O projeto de equipamentos é um processo iterativo, e que pode ditar o sucesso, ou não, do produto a desenvolver. É importante, numa parte inicial do projeto, considerar um grande leque tanto de materiais como de processos de fabrico. Existem ferramentas como os diagramas de Ashby e as matrizes PRIMA, que auxiliam a seleção de material e processo indicados para o produto. Nos dias de hoje, e com o desenvolvimento da tecnologia que se fez sentir nos últimos anos, o uso de programas de projeto assistido por computar tem tido uma grande importância no desenvolvimento do produto. Com estes, é possível fazer modelos 3D e fazer as respetivas simulações. Isto permite reduzir o número de protótipos criados, reduzindo o custo associado ao desenvolvimento da peça. Por fim, abordou-se a fundição com foco na fundição injetada. Fez-se a distinção entre injeção em câmara quente e câmara fria. Estes processos distinguem-se maioritariamente pelo mecanismo de injeção. A injeção em câmara quente contém a bomba de injeção submersa no metal fundido, enquanto a injeção em câmara fria a bomba situa-se fora, necessitando de ser alimentada a cada ciclo. Esta diferença faz-se notar maioritariamente no tempo de ciclo de cada uma. Mantendo o tópico da fundição, abordaram-se as ligas de zinco associadas ao processo de fundição injetada. Analisou-se ainda os diferentes elementos de liga, encontrados nas ligas de zinco, e a sua influência nas peças produzidas.

Passando aos estudos preliminares, concluiu-se que apesar de existirem inúmeras abordagens ao problema, grande parte não foram viáveis no ambiente empresarial atual, seja por restrições do processo ou da empresa. Quanto à mudança do ângulo de admissão, a implementação de um novo conceito de bomba iria apresentar custos de elevada importância e não dava garantias da resolução do problema. Por este motivo, não se deu continuidade à ideia. No entanto, esta mudança de ângulo tornou-se possível com a implementação de um conceito de bico diferente. Foram realizados diversos ensaios com este conceito, e chegou-se à conclusão de que o mesmo não era viável por dois motivos: o primeiro, é a raiz do problema, ou seja, ineficiência térmica, não foi resolvido, dando origem ao mesmo problema, e o segundo é que o acoplamento do bico à ponteira não era estanque. Efetuou-se também um estudo dos parâmetros de injeção das máquinas de Zamak, no qual se recolheram amostras de gitos diariamente, e se classificou os mesmos como conforme e não conformes, consoante a formação da contra saída. Não foi possível retirar conclusões deste estudo, pois rapidamente se percebeu que existem muitos fatores externos impossíveis de controlar que influenciam negativamente a injeção de Zamak. Por fim, neste subcapítulo estudou-se a hipótese de fabricar os elementos do sistema de injeção, nomeadamente o bico e a estrutura, noutro material. A família de materiais que aparentava ser a mais benéfica eram os cerâmicos. O fabrico destes em matérias cerâmicas foi também descartado, pelo facto que esta família de materiais apresenta um comportamento frágil ao impacto, algo que tanto a estrutura como o bico estão sujeitos. Visto que os cerâmicos não eram viáveis, realizou-se uma

pesquisa sobre revestimentos HVOF. Estes são revestimentos que melhoram as propriedades mecânicas do elemento e apresentam baixa condutividade térmica. A utilização destes revestimentos não se tornou viável, pois quando expostos a elevadas temperaturas durante um período de tempo prolongado, formam uma camada de óxidos entre o substrato e o revestimento. Esta acaba por levar à falha do revestimento e, por sua vez, do componente em questão.

Após os estudos preliminares, realizou-se um modelo teórico com o propósito de otimizar a condução de calor para a extremidade do bico de injeção, e deste modo eliminar as falhas de injeção. Graças a este modelo, foi possível realizar diversas simulações e assim reduzir os custos de prototipagem que seriam necessários para chegar ao resultado final. Procedeu-se ao fabrico do bico e estrutura da simulação mais favorável, e implementou-se os mesmos numa linha de produção. Este bico para além de ser utilizado no conceito de bico encostado que é uma enorme vantagem, ficou mais curto face ao bico anteriormente utilizado e o volume de material na extremidade aumentou. Os resultados foram visíveis de imediato, sendo possível baixar a temperatura da resistência em 55°C, passando esta a estar nos 560°C. A esta temperatura, o tempo de vida dos componentes associados aumenta significativamente. Apesar de se ter reduzido a temperatura da resistência, foi possível garantir o bom funcionamento da máquina, eliminando as falhas de injeção por solidificação de Zamak no bico. Tornou-se assim possível reduzir as paragens por falhas de injeção da máquina. Este conceito na máquina em questão representou um ganho de disponibilidade do equipamento de 4,49%. O consumo de componentes de desgaste reduziu, no entanto numa fase inicial é difícil apresentar os ganhos económicos visto que ainda não se possui dados suficientes para chegar a este tipo de conclusões. Sabe-se, no entanto, que o bico atualmente implementando já ultrapassou o tempo de vida do conceito anterior.

No final, pode-se concluir que este trabalho foi um sucesso, uma vez que se conseguiu resolver o problema indicado no início do mesmo, cumprindo todos os requisitos impostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Saunders, P. Lewis, and A. Thornhill, *Research methods for business students*, 5th ed. Harlow, England: Pearson education, 2009.
- [2] B. Heiing and M. Ersoy, *Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives*, 1st ed. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media, 2010.
- [3] "2021 Production Statistics." <https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics/> (accessed 11/1/2023).
- [4] ACEA. "3.4 million manufacturing jobs in the EU automotive sector." <https://www.acea.auto/figure/manufacturing-jobs-in-eu-automotive-sector/> (accessed 11/1/2023, 2023).
- [5] N. G. O. Martins, "Desenvolvimento de novo conceito de equipamento flexível para o fabrico de cabos de comando para automóveis," Master, Engenharia Mecânica, ISEP, Porto, Portugal, 2019.
- [6] J. Rosa, "Portugal: Um País Produtor De Automóveis," Master, Portugal Global, 66, Mensal., ISCAL, Lisboa, Portugal, 2016.
- [7] Deloitte. "Cluster da indústria automóvel em Portugal." <https://www2.deloitte.com/pt/pt/pages/consumer-business/articles/cluster-da-industria-automovel-em-portugal.html> (accessed 11/1/2023, 2023).
- [8] AFIA. "PORTUGAL Auto Components Industry." <https://afia.pt/en/statistics/> (accessed 11/1/2023, 2023).
- [9] A. M. D. T. Ferreira, "Integração e Melhoria de Processos na Vulcanização de Pneus," Master, Engenharia Mecânica, Instituto Politecnico do Porto (Portugal), Porto, Portugal, 2018.
- [10] K. Lancaster, "The economics of product variety: A survey," *Marketing science*, vol. 9, no. 3, pp. 189-206, 1990.
- [11] H. A. G. Pinto, "Estudo e Desenvolvimento de Moldes de Terminais de Cabo em Ligas Zamak," Master, Engenharia Mecânica, Instituto Politecnico do Porto (Portugal), Porto, Portugal, 2018.
- [12] M. F. Ashby and D. Cebon, "Materials selection in mechanical design," *MRS Bull*, vol. 30, no. 12, p. 995, 31/01/2011 2005.
- [13] G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. A. Knight, *Product design for manufacture and assembly*, 3rd ed. Boca Raton: CRC press, 2010, p. 712.
- [14] K. G. Swift and J. D. Booker, *Process selection: from design to manufacture*. Oxford, England: Elsevier, 2003.
- [15] M. F. Ashby and D. CEBON, "Materials selection in mechanical design," *Le Journal de Physique IV*, vol. 3, no. C7, pp. C7-1-C7-9, 1993.
- [16] K. Swift and J. Booker, *Manufacturing process selection handbook*. Oxford, England: Butterworth-Heinemann, 2013.
- [17] D. Ullman, *EBOOK: The Mechanical Design Process*, 4th ed. New York, USA: McGraw Hill, 2009.
- [18] M. Yoshimura, *System design optimization for product manufacturing*, 1st ed. Kyoto Japan: Springer Science & Business Media, 2010.
- [19] J. E. Shigley, C. R. Mischke, and T. H. Brown Jr, *Standard handbook of machine design*, 3rd ed. USA: McGraw-Hill Education, 2004.
- [20] T. Rabczuk, J.-H. Song, X. Zhuang, and C. Anitescu, *Extended finite element and meshfree methods*, 1st ed. Oxford, United Kingdom: Academic Press, 2019.
- [21] P. Kurowski, *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*, 1st ed. SDC publications, 2013.

- [22] R. D. S. G. Campilho, *MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS: Ferramentas para Análise Estrutural*. Publindústria, Edições Técnicas, Lda., 2012.
- [23] B. Moreira, R. M. Gouveia, F. Silva, and R. Campilho, "A novel concept of production and assembly processes integration," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1385-1395, 2017.
- [24] N. Veiga, R. Campilho, F. da Silva, P. Santos, and P. Lopes, "Design of automated equipment for the assembly of automotive parts," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 1316-1323, 2019.
- [25] F. Silva *et al.*, "A Novel automated system for the handling of car seat wires on plastic over-injection molding machines," *Machines*, vol. 9, no. 8, p. 141, 2021.
- [26] P. Santos, R. Campilho, and F. J. Silva, "A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 67, p. 102023, 2021.
- [27] R. Costa, F. Silva, and R. Campilho, "A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 91, no. 9, pp. 4043-4054, 2017.
- [28] M. Barbosa, F. Silva, C. Pimentel, and R. M. Gouveia, "A novel concept of CNC machining center automatic feeder," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 952-959, 2018.
- [29] M. P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. MA, USA: John Wiley & Sons, 2020.
- [30] F. Silva, R. D. Campilho, L. P. Ferreira, and M. T. Pereira, "Establishing guidelines to improve the high-pressure die casting process of complex aesthetics parts," in *Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry 4.0*: IOS Press, 2018, pp. 887-896.
- [31] S. Gaspar, "Technological Factors of Pressure Die Casting," *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, vol. 9, no. 3, p. 157, 2011.
- [32] E. M. G. F. Braga, "Otimização do processo de injeção de Zamak," Master, Engenharia mecânica, Instituto Politécnico do Porto (Portugal), Porto, Portugal, 2015.
- [33] E. J. Vinarcik, *High integrity die casting processes*, 1st ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2002.
- [34] B. Andresen, *Die Casting Engineering: A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process*. 2005. New York, USA: Marcel Dekker.
- [35] E. A. Avallone, T. Baumeister III, and A. Sadegh, *Marks' standard handbook for mechanical engineers*, 11th ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2007.
- [36] NADCA, *Introduction to Die Casting*, 9th ed. IL, USA: NADCA, 2007.
- [37] O. C. Ronald N. Caron, James T. Staley, Alcoa Technical Center, *ASM HANDBOOK: Materials Selection and Design* (Effects of Composition, Processing, and Structure on Properties of Nonferrous Alloys). New York, USA, 1997, p. 2005.
- [38] E. M. V. Robert L. Mott, Jyhwen Wang, *MACHINE ELEMENTS IN MECHANICAL DESIGN*, sixth ed. New York, USA: Pearson, 2018.
- [39] "The European Foundry Industry 2021," CAEF- The European Foundry Association, 2021.
- [40] NADCA, *Product Specification Standards for Die Casting*, 9th ed. NORTH AMERICAN DIE CASTING ASSOCIATION, 2015.
- [41] J. L. Pereira, R. D. Campilho, F. J. Silva, I. J. Sánchez-Arce, C. Prakash, and D. Buddhi, "Improving The efficiency of the bowden cable terminal injection process for the automotive industry," *Processes*, vol. 10, no. 10, p. 1953, 2022.
- [42] H. Pinto and F. Silva, "Optimisation of die casting process in Zamak alloys," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 517-525, 2017.
- [43] V. Sousa, F. J. Silva, L. P. Ferreira, R. Campilho, T. Pereira, and E. Braga, "Improving the design of nozzles used in zamak high-pressure die-casting process," *FME Transactions*, vol. 49, no. 4, pp. 1005-1013, 2021.
- [44] M. C. Tojal, F. J. Silva, R. Campilho, A. G. Pinto, and F. L. Pinto, "Case-based product development of a high-pressure die casting injection subset using design science research," *FME Transactions*, vol. 50, no. 1, pp. 32-45, 2022.

- [45] H. Pinto, F. Silva, R. Martinho, R. Campilho, and A. Pinto, "Improvement and validation of Zamak die casting moulds," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 1547-1557, 2019.
- [46] F. I. SA. "Our History, A past linked to the future." <https://www.ficosa.com/company/our-history/> (accessed 12/07/2023, 2023).
- [47] F. I. SA. "Ficosa reinforces its presence in Portugal with new facilities." <https://www.ficosa.com/news/ficosa-reinforces-its-presence-in-portugal-with-new-facilities/> (accessed 12/07/2023, 2023).
- [48] F. Communication. <https://www.flickr.com/photos/ficosaofficialpage/44563463550/in/photostream/> (accessed 12/07/2023, 2023).
- [49] T. Sidhu, S. Prakash, and R. Agrawal, "State of the art of HVOF coating investigations—A review," *Marine Technology Society Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 53-64, 2005.
- [50] H. Yao, Z. Zhou, L. Wang, Z. Tan, D. He, and L. Zhao, "Thermal conductivity and wear behavior of HVOF-sprayed Fe-based amorphous coatings," *Coatings*, vol. 7, no. 10, p. 173, 2017.
- [51] K. J. Vanat, G. B. Sucharski, R. S. C. Paredes, and A. G. M. Pukasiewicz, "Deposition of Aluminum Coatings by HVOF Process on Complex Geometries," *Journal of Thermal Spray Technology*, pp. 1-22, 2021.
- [52] H.-J. Jang, D.-H. Park, Y.-G. Jung, J.-C. Jang, S.-C. Choi, and U. Paik, "Mechanical characterization and thermal behavior of HVOF-sprayed bond coat in thermal barrier coatings (TBCs)," *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, no. 14-15, pp. 4355-4362, 2006.
- [53] R. B. M Rosochowska, "Measurements of thermal contact conductance," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 135, no. 2-3, pp. 204-210, 20/04/2003 2003.
- [54] P. R. Burte, Y.-T. Im, T. Altan, and S. Semiatin, "Measurement and analysis of heat transfer and friction during hot forging," 1990.

APÊNDICE A

Máquina 1									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,15	0,5	5	600	439	18	0	85	15
2	0,15	0,5	5	600	438	17	0	100	0
3	0,15	0,5	5	595	438	16	0	100	0
4	0,15	0,5	5	600	437	17	0	95	5
5	0,15	0,5	5	600,5	440	18	0	95	5
6	0,15	0,5	5	600	438	19	0	95	5
7	0,15	0,5	5	600,5	437	19	0	95	5
8	0,15	0,5	5	600,5	439	17	0	100	0
9	0,15	0,5	5	599,5	434	11	0	95	5
10	0,15	0,5	5	599,5	439	15	5	95	0
11	0,15	0,5	5	574	439	9	0	100	0
12	0,15	0,5	5	600,5	438	13	0	100	0
14	0,15	0,5	5	601,5	438	14	0	100	0
17	0,15	0,5	5	600	439	12,9	0	100	0
22	0,15	0,5	5	599,5	440	15,73	0	100	0
23	0,2	0,5	5	603	437	11,61	0	100	0
24	0,2	0,5	5	596,5	440	14,14	10	85	5
26	0,2	0,5	5	598,5	440	9,87	0	95	5
27	0,2	0,5	5	598	436	7,73	0	100	0
28	0,2	0,5	5	596	439	6,76	0	100	0
29	0,2	0,5	5	598,5	438	8,54	0	100	0
33	0,2	0,5	5	596,5	438	9,54	0	100	0
35	0,2	0,5	5	600	437	16,51	0	100	0
36	0,2	0,5	5	598,5	439	15,34	0	100	0
37	0,2	0,5	5	598	434	14,07	0	100	0
38	0,2	0,5	5	600	436	11,27	0	100	0
39	0,2	0,5	5	599,5	436	11,74	0	100	0
40	0,2	0,5	5	597,5	439	15,27	0	100	0
41	0,2	0,5	5	597,5	438	14,61	0	100	0
42	0,2	0,5	5	598,5	438	15,34	0	100	0
43	0,2	0,5	5	598,5	438	15,68	0	100	0
44	0,2	0,5	5	599,5	438	7,87	0	100	0
45	0,2	0,5	5	599,5	439	5,43	0	100	0
46	0,2	0,5	3	629,5	438	5,74	0	100	0
47	0,2	0,5	3	606	438	5,71	0	100	0

Máquina 2									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,25	0,25	4	594,5	439	15,3	0	90	10
2	0,25	0,25	4	595	437	14,7	0	100	0
24	0,25	0,25	4	619	437	14,14	0	100	0
25	0,25	0,25	4	618,5	438	15,14	0	100	0
28	0,25	0,25	4	619	439	6,76	0	100	0
30	0,25	0,25	4	618,5	438	7,81	0	100	0
47	0,25	0,25	4	619	437	5,71	0	100	0

Máquina 3									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,2	0,25	4,5	614	440	18	0	100	0
2	0,2	0,25	4,5	618	441	17	5	95	0
3	0,2	0,25	4,5	622	439	16	0	100	0
4	0,2	0,25	4,5	622	438	17	15	85	0
5	0,2	0,25	4,5	623	439	18	0	100	0
6	0,2	0,25	4,5	623,5	439	19	0	95	5
7	0,2	0,25	4,5	623,5	441	19	5	95	0
8	0,2	0,25	4,5	622	440	17	0	100	0
9	0,2	0,25	4,5	622,5	441	11	0	100	0
10	0,25	0,25	4,5	621,5	438	15	15	85	0
11	0,25	0,25	4,5	612	439	9	0	100	0
12	0,3	0,25	4,7	613	439	13	0	100	0
13	0,3	0,25	4,7	612,5	440	15	0	100	0
14	0,3	0,25	4,7	613,5	441	14	0	100	0
15	0,3	0,25	4,7	614	438	14,6	0	100	0
16	0,25	0,2	4,7	614	438	14,4	0	100	0
17	0,3	0,25	4,7	613,5	439	12,9	0	100	0
23	0,3	0,25	4,7	613	438	11,61	0	100	0
24	0,3	0,25	4,7	613	439	14,14	0	100	0
25	0,3	0,25	4,7	613,5	439	15,14	0	100	0
26	0,3	0,25	4,7	613,5	440	9,87	0	100	0
27	0,3	0,25	4,7	613,5	438	7,73	0	100	0
29	0,35	0,3	4,7	613,5	439	8,54	80	20	0
30	0,25	0,25	4,7	613,5	440	7,81	0	100	0
33	0,25	0,25	4,7	612,5	439	9,54	0	100	0
35	0,25	0,25	4,7	614	439	16,51	0	100	0
39	0,25	0,25	4,7	613	439	11,74	15	85	0
40	0,25	0,25	4,7	614	440	15,27	0	100	0
41	0,25	0,25	4,7	614	438	14,61	65	35	0
42	0,25	0,25	4,7	613	438	15,34	5	95	0
43	0,25	0,25	4,7	613	438	15,68	5	95	0
46	0,25	0,25	4,7	613	442	5,74	15	85	0
47	0,25	0,25	4,7	612	438	5,71	5	95	0
Máquina 4									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,25	0,25	4,5	582,5	441	18	5	95	0
2	0,25	0,25	4,5	584	439	17	0	100	0
3	0,25	0,25	4,5	583	437	16	5	95	0
4	0,25	0,25	4,5	582,5	439	17	0	100	0
5	0,25	0,25	4,5	582,5	440	18	0	100	0
6	0,25	0,25	4,5	583	437	19	0	100	0
7	0,25	0,25	4,5	583,5	439	19	0	100	0
9	0,25	0,25	4,5	584	439	11	0	100	0
10	0,25	0,25	4,5	582	437	15	0	100	0
11	0,25	0,25	4,5	583	440	9	0	100	0
16	0,25	0,25	4,5	584,5	440	14,4	0	100	0
17	0,25	0,25	4,5	586,5	437	12,9	0	100	0
18	0,25	0,25	4,5	583	438	16,21	0	100	0
19	0,25	0,25	4,5	584	439	14,13	0	100	0
20	0,25	0,25	4,5	582,5	436	14,83	0	100	0
21	0,25	0,25	4,5	583,5	441	9,01	0	100	0
22	0,25	0,25	4,5	583	440	15,73	0	100	0
27	0,25	0,25	4,5	583	437	7,73	0	100	0
28	0,25	0,25	4,5	584	440	6,76	0	90	10
30	0,25	0,25	4,5	583	437	7,81	0	100	0
31	0,25	0,25	4,5	583,5	441	10,73	15	80	5
32	0,25	0,25	4,5	583,5	441	10,47	0	100	0
35	0,25	0,25	4,5	583,5	438	16,51	10	80	10
37	0,25	0,25	4,5	582	438	14,07	30	65	5
38	0,25	0,25	4,5	603,5	441	11,27	15	70	15
44	0,25	0,25	4,5	604	438	7,87	30	60	10
45	0,25	0,25	4,5	603,5	441	5,43	20	65	15

Máquina 5									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,25	0,15	4,5	595,5	438	18	76	0	24
2	0,25	0,15	4,5	595,5	436	17	80	0	20
3	0,25	0,15	4,5	595	440	16	85	0	15
4	0,25	0,15	4,5	595,5	438	17	90	0	10
5	0,25	0,15	4,5	594	436	18	25	40	35
6	0,25	0,15	4,5	595	436	19	50	25	25
7	0,25	0,15	4,5	594	440	19	40	60	0
8	0,25	0,15	4,5	593	438	17	35	60	5
9	0,25	0,15	4,5	593	440	11	45	45	10
10	0,25	0,15	4,5	593	436	15	35	65	0
11	0,25	0,15	4,5	595,5	440	9	5	95	0
12	0,25	0,15	4,5	594	438	13	20	80	0
13	0,25	0,15	4,5	595,5	436	15	30	70	0
14	0,25	0,15	4,5	594,5	436	14	40	60	0
15	0,25	0,15	4,5	594	436	14,6	40	50	10
16	0,25	0,15	4,5	595,5	439	14,4	65	35	0
17	0,25	0,15	4,5	596	437,5	12,9	65	20	15
18	0,25	0,15	4,5	594	440,5	16,21	40	50	10
19	0,25	0,15	4,5	594,5	441	14,13	60	40	0
20	0,25	0,15	4,5	594	436	14,86	80	15	5
21	0,25	0,15	4,5	594	437	9,01	50	0	50
24	0,25	0,15	4,5	594	440	14,14	45	15	40
25	0,25	0,15	4,5	593,5	438	15,14	45	30	25
37	0,25	0,15	4,5	595	439	14,07	50	0	50
42	0,25	0,25	4,5	595,5	439	15,34	0	75	25
43	0,25	0,25	4,5	597,5	439	15,68	0	100	0
45	0,25	0,25	4,5	596,5	439	5,43	0	100	0
46	0,25	0,25	4,5	596	439	5,74	0	100	0

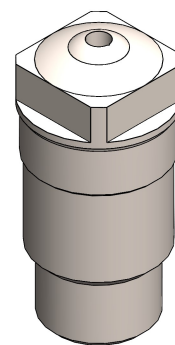
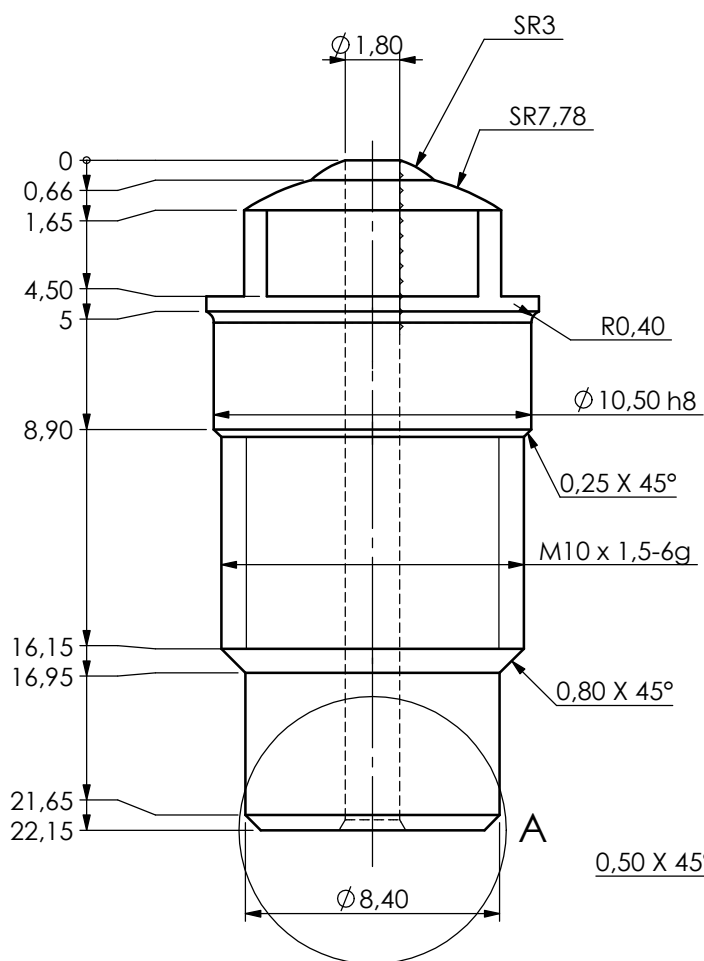
Máquina 6									
Dia	Ench.[s]	Arref.[s]	Pres.[bar]	Temp. resist.[°C]	Temp. Cad.[°C]	Temp. amb.[°C]	G.C. [%]	G.N.C.S. [%]	G.N.C.V [%]
1	0,18	0,25	5	575,5	436	18	20	80	0
2	0,18	0,25	5	575	438	17	45	50	5
3	0,18	0,25	5	577	437	16	15	85	0
4	0,18	0,25	5	576	436	17	5	95	0
5	0,18	0,25	5	575	437	18	0	100	0
6	0,18	0,25	5	576	438	19	5	95	0
7	0,18	0,25	5	575,5	435	19	5	95	0
8	0,2	0,25	5	575,5	437	17	0	100	0
9	0,2	0,25	5	574	436	11	0	100	0
10	0,2	0,25	5	584,5	435	15	5	95	0
11	0,2	0,25	5	575	438	9	25	75	0
12	0,2	0,25	5	575,5	435	13	5	95	0
13	0,2	0,25	5	575	437	15	0	100	0
14	0,2	0,25	5	575	435	14	0	100	0
15	0,2	0,25	5	574	437	14,6	0	100	0
16	0,2	0,25	5	574	440	14,4	0	100	0
17	0,2	0,25	5	574	438	12,9	0	100	0
18	0,2	0,25	5	573	436	16,21	0	100	0
19	0,2	0,25	5	574	436	14,13	0	100	0
20	0,2	0,25	5	572,5	436	14,83	5	95	0
21	0,2	0,25	5	572,5	438	9,01	0	100	0
22	0,2	0,25	5	573	437	15,73	0	100	0
23	0,2	0,25	5	572,5	438	11,61	0	100	0
24	0,2	0,25	5	573	437	14,14	0	100	0
25	0,2	0,25	5	574	438	15,14	0	100	0
26	0,2	0,25	5	576,5	436	9,87	0	100	0
27	0,2	0,25	5	572,5	437	7,73	0	100	0
28	0,2	0,25	5	573	430	6,76	0	100	0
29	0,2	0,25	5	573	437	8,54	0	100	0
30	0,2	0,25	5	572	436	7,81	0	100	0
31	0,2	0,25	5	573,5	435	10,73	0	100	0
32	0,2	0,25	5	577,5	438	10,47	0	100	0
33	0,2	0,25	5	574	438	9,54	0	100	0
34	0,2	0,25	5	575,5	437	11,51	0	100	0
35	0,2	0,25	5	578,5	437	16,51	0	100	0
38	0,2	0,25	5	574,5	438	11,27	0	100	0
39	0,2	0,25	5	576	435	11,74	0	100	0
45	0,2	0,25	5	575,5	437	5,43	0	100	0
46	0,2	0,25	5	575,5	435	5,74	0	100	0
47	0,2	0,25	5	575,5	436	5,71	5	95	0

APÊNDICE B

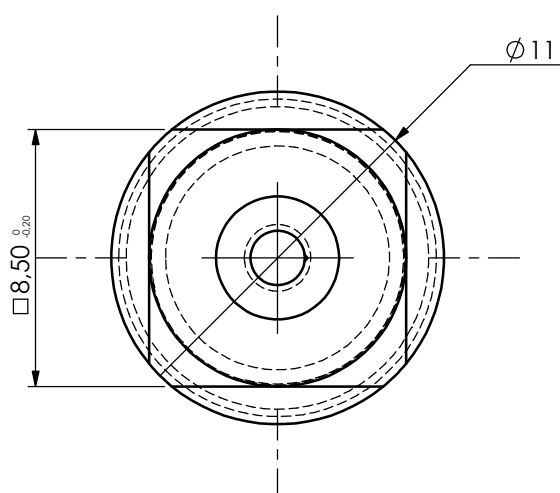
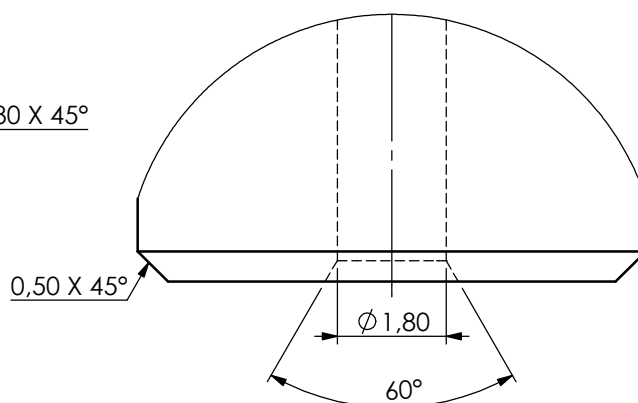
Descrição do problema	Data	Ações tomadas	Duração
resistencia do bico NOK	16/06/2023 01:16	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p: maquina nao injeta.. c: resistencia queimada... r: substituir resistencia	150
MNT problema com variação de cota	23/05/2023 10:17	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: desentupir ponteira e substituir bico	206
manutencao- muita vareacao na cota de saida	15/05/2023 07:19	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p-variação da cota de saída ; c- bomba e bico obstruidos ; susbtituição do bico , desobudtruir ponteira da bomba .	505
manutencao- maq de zamack da erro de carga por nao injetar	04/05/2023 07:27	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: AUMENTAR TEMPERATURA DE RESISTENCIA E ALINHAR BARREIRAS DE SEG.	225
manutencao- maq da erro de carga e nao injeta	26/04/2023 07:57	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: desentupir ponteira de bomba	71
mnt zamak por x nao injeta	24/04/2023 09:01	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: desentupir ponteira	172
manutenção-bico de zamak intupido	18/04/2023 11:42	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir embolo	63
MANUTENÇÃO RESISTENCIA DO BICO NOK	22/03/2023 08:19	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir resistencia do bico	333
manutencao-zamak nao injeta	15/03/2023 08:32	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir bico	293
manutencao- maq de zamack injetou o molde e saltou zamack para a operadora	14/03/2023 08:32	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir molde	167
MANUTENÇÃO Resistencia do bico nok	13/03/2023 10:24	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir resistencia do bico e afinar maquina	194
erro de carga	03/03/2023 10:41	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: afinar cota de saída	82
afinador- 1 posto bico partido	02/03/2023 06:12	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir bico	58
afinador- molde injetado	27/02/2023 07:35	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: limpar molde	61

manutencao-maq de zamack nao injeta	02/02/2023 12:45	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: desentupir bico	62
TERMINAL NOK	24/01/2023 00:42	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p: terminal com falha de injecao... c: bico entupido... r: desentupir bico varias vezes mas apos algumas injecoes volta a sair com falha de injecao, substituir bico	178
MNT Resistencia de bico nok	23/01/2023 13:38	Acção: Alterar / substituir componentes<p>Acção Obs: p- bico não aquece ; c- resistencia queimada ; r- substituição .	120
maq. nao injeta bomba	20/01/2023 00:48	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: aferir encosto	12
manutencao-gito preso no molde	10/01/2023 11:36	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: aumentar temperatura de resistencia do bico	127
resistencia do bico NOK	20/12/2023 02:29	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p: resistencia do bico nao sobe... r: resistencia danificada... r: substituir resistencia	126
MNT RESISTENCIA NOK	07/12/2023 11:54	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: substituir resistencia	120
ZAMAK NAO INJETA	07/12/2023 02:14	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p: zamak nao injeta... c: bico danificado, acumulacao de zamak na resistencia... r: limpar resistencia e substituir bico	123
erro carga.	25/11/2023 00:58	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: afinar pessões e acompanhar	155
MNT Maq nao injeta,so sai apenas um pouco que nem o gito enche	21/11/2023 12:11	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: p-- maq. não injeta ; c bico obstruido ; r- substituição .	219
zamack nao injeta e da erro de carga	14/10/2023 10:52	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: centrar bico de zamackl	27
afinador- zamack no bico	07/10/2023 10:46	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: maq a saltar zamack abri o.t	8
MAQ. NAO INJETA	07/10/2023 04:02	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: ajustar temperatura de resistencia do bico	217
manutencao-zamak nao injeta - a dar erro de carga	06/10/2023 06:43	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: aumentar temperatura de resistencia do bico e ajustar parametros	85
maq. nao injecta	05/10/2023 04:10	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: bico partido,resistencia nok.substituir ponteira de bomba e resistencia	467
erro de carga	04/10/2023 01:15	Acção: Ajustando os componentes<p>Acção Obs: P: Erro de carga. C: Desconhecida. R: Acompanhar linha em trabalho, está a trabalhar corretamente.	41

APÊNDICE C



DETALHE A
ESCALA 8 : 1



ESCALA
4:1

Toleranciamento: ISO 8015
Tolerâncias gerais: ISO 2768-mK
Rugosidades gerais: ISO 1302
Material: MG50 (Ovar 2M)
Tratamento: Têmpera 50-52 HRC

Pessoa responsável Pedro A. Leitão	Departamento responsável Manutenção	Tipo de documento Desenho de peça	Estado do documento Publicado			
Proprietário legal FicoCables, Lda		Título Bico Injeção Zamak Teste sem nitruração		Número PMDBIC0105		
				Revisão B	Data de edição 02/06/2023	Língua PT
						Folha 1/1

ANEXO A



Vrd.-Azul-Vrd.

Normas:

EN: X 153 CrMoV 12	AISI: D2	DIN: X 155 CrVMo 12-1
Fornecimento: EN ISO 4957		



2379

Aço ligado

W.Nr. 1.2379

Estado de fornecimento:

Recozido $\leq$ 255 HB

Perfis disponíveis:

			Chapa
$\leq 50,8$ mm EN 10060	25 a 110 mm EN 10059	10 a 300 mm EN 10058	---

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%):

C	Si	Mn	V	P	S	Cr	Mo
1,45-1,60	0,10-0,60	0,20-0,60	0,70-1,00	$\leq 0,030$	$\leq 0,030$	11,0-13,0	0,70-1,00

CARACTERÍSTICAS:

Aço ferramenta para aplicações de trabalho a frio com muito boa resistência ao desgaste abrasivo, mas limitado no que respeita à resistência à fragmentação ou fissura.

APLICAÇÕES PRINCIPAIS:

Matrizes e punções. Lâminas para guilhotinas, navalhas, ferramentas para madeira.

PROPRIEDADES:

Densidade: 7,70 Kg/dm³

Coefficiente de Dilatação Térmica, 10⁻⁶m/mK:

20 a 600 °C	20 a 500 °C	20 a 400 °C	20 a 300 °C	20 a 200 °C	20 a 100 °C
---	---	12,0	---	11,2	---

Condutibilidade Térmica, W/mK:

600 °C	300 °C	20 °C
23	21	20

Módulo de Elasticidade, GPa:

600 °C	500 °C	400 °C	300 °C	200 °C	100 °C	20 °C	0 °C	-100 °C
---	---	180	---	200	---	210	---	---

Propriedades Mecânicas:

Estado	Dureza (HRC)	RC	Rp0,2 (MPa)	A% (L0=5do)	Z%
N/A	62	2200			
N/A	60	2150			
N/A	55	1900			

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar
Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410
www.ramada.pt | vendas.acos@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores são apresentados a título indicativo, não assumindo carácter vinculativo, dado a poder existir variações resultantes de erros associados aos ensaios e às fontes documentais.

Data de actualização: 24/03/2021



Vrd.-Azul-Vrd.



2379

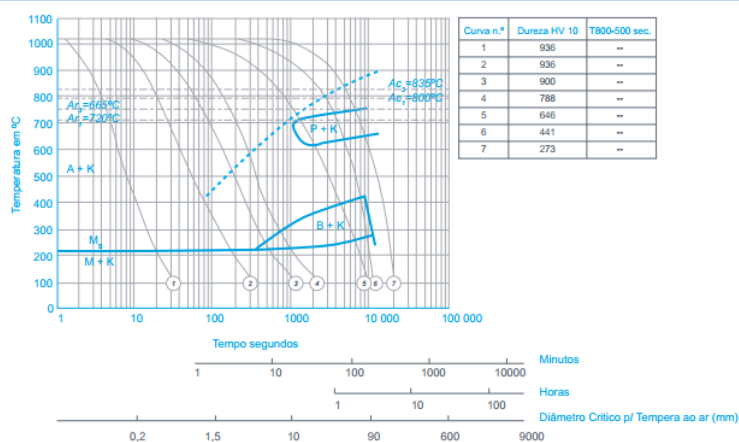
Aço ligado

W.Nr. 1.2379

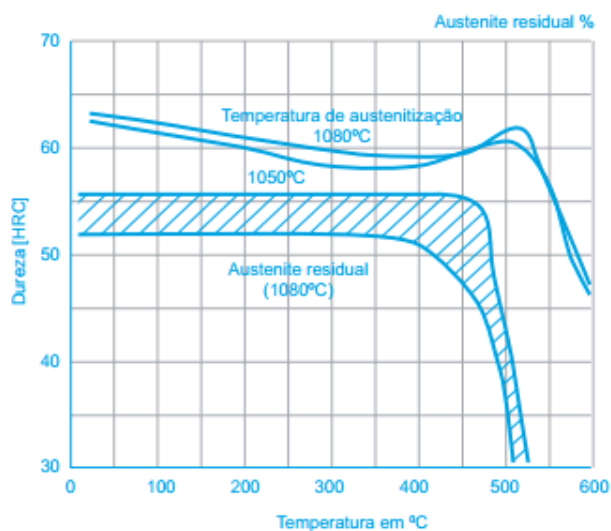
TRATAMENTOS TÉRMICOS

	Temperatura	Meio de Arrefecimento	Dureza
Recozimento de Amaciamento	840-860 °C	Forno	255 HB
Têmpera	990-1080 °C	Óleo e Azoto	61 HRC
Redução de Tensões	550-650 °C	Azoto	---
Revenido Usual	180-550 °C	Azoto	54-62 HRC

DIAGRAMA TAC



CURVA DE REVENIDO



Aconselhamento Técnico:

A nossa equipa técnica encontra-se disponível para esclarecimento de dúvidas e aconselhamento na selecção do material e tratamento térmico mais adequado à sua aplicação.

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar
 Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410
www.ramada.pt | vendas.acos@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança, contudo alguns dos valores apresentados são indicativos, não podendo possuir carácter vinculativo, dado existirem variações resultantes de erros associados aos ensaios e às actualizações documentais.

Data de actualização: 24/03/2021



Our



R 316

Aço inoxidável

W.Nr. (1.4401)

Normas:

EN: (X 5 CrNiMo 17 12 2) AISI: (316) DIN: (X 5 CrNiMo 17 12 2)

Fornecimento: EN 10088-3

Estado de fornecimento:

Austenítico

Perfis disponíveis:

Ø	□	▤	Tubo
6 a 120 mm EN 10060	---	5 a 35 mm EN 10058	Com consulta EN 10297-2

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%):

C	Si	Mn	Ni	Mo	Cr
≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	10,00 - 13,00	2,00 - 2,50	16,50 - 18,50

CARACTERÍSTICAS:

Aço não temperável, austenítico e logo amagnético com boa resistência a oxidação até 850°C. A adição de molibdénio aumenta a resistência mecânica deste aço além de melhorar a resistência à corrosão para meios clorados e não oxidantes. A dureza deste material não é alterada por têmpera, é fácil de soldar e não requer pré ou pós tratamento térmico. Tem boa maquinabilidade e excelente alongamento.

APLICAÇÕES PRINCIPAIS:

Instrumentos médicos, construções perto do mar, indústria de celulose, química, têxtil e alimentar.

PROPRIEDADES:

Densidade: 8,00 Kg/dm³

Coefficiente de Dilatação Térmica, 10⁻⁶m/mK:

20 a 600 °C	20 a 500 °C	20 a 400 °C	20 a 300 °C	20 a 200 °C	20 a 100 °C
---	18,0	17,5	17,0	16,5	16,0

Condutibilidade Térmica, W/mK:

400 °C	200 °C	20 °C
---	---	15

Módulo de Elasticidade, GPa:

600 °C	500 °C	400 °C	300 °C	200 °C	100 °C	20 °C	0 °C	-100 °C
---	165	172	179	186	194	200	---	---

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar
Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410
www.ramada.pt | acos.ovar@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores apresentados são indicativos, não podendo possuir carácter vinculativo, dado existirem variações resultantes de erros associados aos ensaios e às actualizações documentais.

Data de actualização: 13/04/2018



Propriedades Mecânicas:

Ø (mm)	Espessura (t) (mm)	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A% (L0=5do)
≤ 10	≤ 10	600 – 950	≥ 400	≥ 25
≤ 16	≤ 16	580 – 950	≥ 380	≥ 25
≤ 40	≤ 40	500 – 850	≥ 200	≥ 30
≤ 63	≤ 63	500 – 850	≥ 200	≥ 30

TRATAMENTOS TÉRMICOS

	Temperatura	Meio de Arrefecimento	Dureza
Recozimento de Solução	1020 - 1120 °C	Ar ou Forno	---

Aconselhamento Técnico:

A nossa equipa técnica encontra-se disponível para esclarecimento de dúvidas e aconselhamento na selecção do material e tratamento térmico mais adequado à sua aplicação.

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar

Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410

www.ramada.pt | acos.ovar@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores apresentados são indicativos, não podendo possuir carácter vinculativo, dado existirem variações resultantes de erros associados aos ensaios e às actualizações documentais.

Data de actualização: 13/04/2018



Verm-Ama-Verm



Orvar 2M

Aço ligado

W.Nr. 1.2344

Normas:

EN: X 40 CrMoV5-1	AISI: H13	DIN: X 40 CrMoV5-1
Fornecimento: EN ISO 4957		

Estado de fornecimento:

Recozido $\leq$ 235 HB

Perfis disponíveis:

$\varnothing$	$\square$	$\square$	Chapa
80 a 580 mm EN 10060	---	<305 mm	---

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%):

C	Si	Mn	V	P	S	Cr	Mo
0,35 – 0,42	0,80 – 1,20	0,25 – 0,50	0,85 – 1,15	$\leq$ 0,030	$\leq$ 0,020	4,80 – 5,50	1,20 – 1,50

CARACTERÍSTICAS:

Boa ductilidade, tenacidade, resistência ao desgaste abrasivo, temperabilidade e maquinabilidade.

APLICAÇÕES PRINCIPAIS:

Fieiras para extrusão de alumínio. Moldes para termoplásticos.

PROPRIEDADES:

Densidade: 7,80 Kg/dm³

Coefficiente de Dilatação Térmica, 10⁻⁶m/mK:

20 a 600 °C	20 a 500 °C	20 a 400 °C	20 a 300 °C	20 a 200 °C	20 a 100 °C
13,2	---	12,6	---	---	---

Condutibilidade Térmica, W/mK:

700 °C	600 °C	20 °C
30	29	25

Módulo de Elasticidade, GPa:

600 °C	500 °C	400 °C	300 °C	200 °C	100 °C	20 °C	0 °C	-100 °C
140	---	180	---	---	---	210	---	---

Propriedades Mecânicas:

Estado	Dureza (HRC)	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)
N/A	45	1420	1280
N/A	52	1820	1520

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar
Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410
www.ramada.pt | acos.ovar@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores apresentados são indicativos, não podendo possuir carácter vinculativo, dado existirem variações resultantes de erros associados aos ensaios e às actualizações documentais.

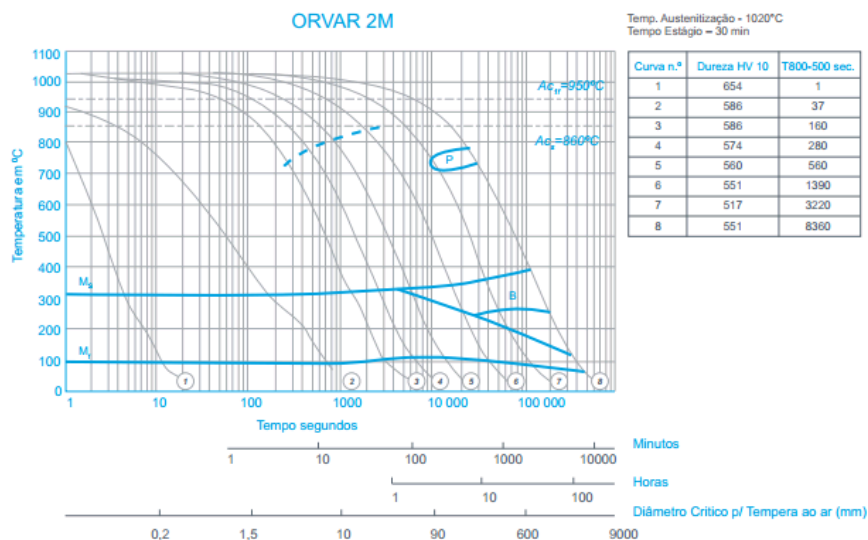
Data de actualização: 27-06-2018



TRATAMENTOS TÉRMICOS

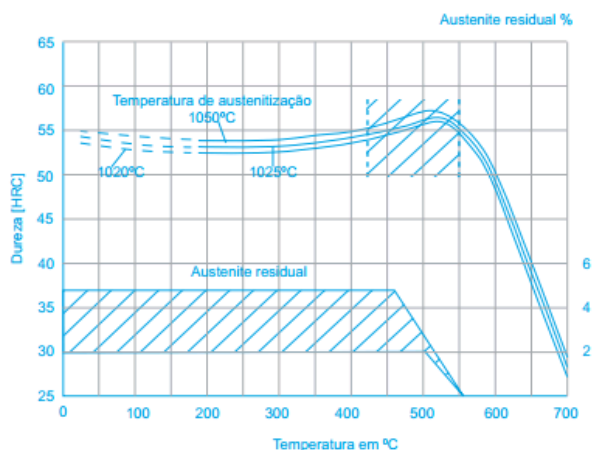
	Temperatura	Meio de Arrefecimento	Dureza
Recozimento de Amaciamento	850 °C	Forno	235 HB
Têmpera	1020-1050 °C	Óleo e Azoto	52-56 HRC
Redução de Tensões	550-650 °C	Azoto	---
Revenido Usual	560-600 °C	Azoto	42-52 HRC

DIAGRAMA TAC



CURVA DE REVENIDO

Não temperar na zona a sombreado (425-550°C).



Aconselhamento Técnico:

A nossa equipa técnica encontra-se disponível para esclarecimento de dúvidas e aconselhamento na selecção do material e tratamento térmico mais adequado à sua aplicação.

Ramada Aços, S.A.

Avenida da Régua, Apartado 10, 3884-004 Ovar
Tel.: +351 256 580 580 | Fax: +351 256 580 500 / +351 256 580 410
www.ramada.pt | acos.ovar@ramada.pt

A informação fornecida é precisa e de confiança contudo, alguns dos valores são apresentados a título indicativo, não assumindo carácter vinculativo, dado a poder existir variações resultantes de erros associados aos ensaios e às fontes documentais.

Data de actualização: 27-06-2018