



PROJETO DE MELHORIA DE EQUIPAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE CABOS DE COMANDO PARA VEÍCULOS

JOSÉ PEDRO MAIA JUNQUEIRO VILAS

outubro de 2018

PROJETO DE MELHORIA DE EQUIPAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE CABOS DE COMANDO PARA VEÍCULOS

José Pedro Maia Junqueiro Vilas

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

PROJETO DE MELHORIA DE EQUIPAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE CABOS DE COMANDO PARA VEÍCULOS

José Pedro Maia Junqueiro Vilas

1141762

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

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor José Luís Soares Esteves

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar queria agradecer à PR-Metal a oportunidade de realizar este trabalho.

Queria agradecer ao meu orientador Eng. Mário Cardoso por todas as indicações, ajudas e acompanhamento prestado.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador Doutor Francisco José Gomes da Silva, por toda a disponibilidade demonstrada e pela ajuda na procura de novas soluções para este projeto. O meu agradecimento especial ao Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, por toda a ajuda facultada nas várias análises feitas ao longo de todo o projeto e disponibilidade demonstrada.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, por todo o acompanhamento prestado ao longo do meu percurso académico.

Quero também agradecer a minha família, por todo o apoio demonstrado não só neste projeto, mas também ao longo do meu percurso académico.

À minha namorada por todo o apoio e ajuda, prestada ao longo do projeto.

Por fim, mas certamente não por último, queria agradecer a todos os amigos que de uma forma ou de outra me ajudaram à conclusão deste projeto.

PALAVRAS CHAVE

Cabos, separação de cabos, sistema de guiamento, otimização, perfil técnico, Zamak, fundição.

RESUMO

A produção de componentes para a indústria automóvel é uma atividade com volume de negócios crescente em Portugal, sendo perceptível que problemas de quantidade, qualidade, prazo de entrega e competitividade estão definitivamente ultrapassados e as principais marcas da indústria automóvel confiam plenamente nas potencialidades da indústria nacional. Isso implica outras necessidades em termos de equipamento, que deve ser cada vez mais automatizado, de forma a garantir cadências de produção adequadas às encomendas, e garantir os padrões de qualidade entendidos como *standard* pelo mercado.

A produção de cabos de comando para o acionamento de diversos dispositivos em viaturas automóveis tem inúmeros desafios a vencer, os quais têm sido sistematicamente estudados e melhorados. Quando assumem comprimentos mais elevados, como o acionamento do tampão de combustível ou a tampa da mala, os equipamentos de injeção possuem alguns em lidar com esse comprimento excessivo.

Este trabalho visou encontrar uma solução para lidar com cabos metálicos de comando com comprimentos grandes, sem que haja necessidade de alocar mão-de-obra ao equipamento apenas para separar os cabos que ficam entrançados uns nos outros.

Foi projetada uma solução bastante económica e versátil, que permite a sua aplicação em equipamentos já existentes, melhorando o seu desempenho, assim como em equipamentos novos, onde funciona como um opcional para clientes que têm que lidar com este tipo de situações. Devido ao limitado tempo de realização deste projeto, o mesmo ainda não foi implementado, mas aguarda encomendas efetivas de clientes para ser levado à prática logo que se torne possível.

KEYWORDS

Cables, cable separation, guiding system, optimization, technical profile, Zamak, casting.

ABSTRACT

The production of components for the automotive industry is an activity with increasing business volume in Portugal, where perceived problems of quantity, quality, delivery time and competitiveness are definitely outdated and the main brands of the automotive industry fully rely on the potential of the national industry. This implies other needs in terms of equipment, which must be increasingly automated, in order to guarantee production rates appropriate to the orders, and to guarantee the quality standards understood as standard by the market.

The production of metallic command cables for the actuation of various devices in passengers vehicles has numerous challenges to overcome, which have been systematically studied and improved. When they take on longer lengths, such as the fuel cap drive or the trunk lid, the injection equipment has some problems to deal with this excessive length.

This work aimed to find a solution to handle metallic command cables with large lengths, without having to allocate manpower to the equipment only to separate the cables that are plaited to each other.

It has been designed a very economical and versatile solution, which allows its application in existing equipment, improving its performance, as well as in new equipment, where it works as an option for clients that have to deal with this type of situations. Due to the limited time frame of this project, it has not yet been implemented, but awaits effective customer orders to be implemented as soon as possible.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BOM	<i>Bill Of Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	Comando Numérico Computorizado
EPE	Polietileno Expandido
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MEM	Mestrado em Engenharia Mecânica
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
<i>Remote load</i>	Carga remota
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>

Lista de Unidades

Termo	Designação
€	Euro
°C	Graus Celsius
cm	Centímetro
g	Gramma
GPa	GigaPascal
h	Hora
kg	Quilograma
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	MegaPascal
N	Newton
Rad	Radiano
s	Segundo
W	Watt
µm	Micrómetro

Lista de Símbolos

Termo	Designação
Al	Alumínio
Cd	Cádmio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mg	Magnésio
Ni	Niquel
Pb	Chumbo
Si	Silício
Zn	Zinco
%	Porcentagem
∅	Diâmetro

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
<i>Assembly</i>	Desenho de conjunto
<i>BOM</i>	<i>Bill of Materials</i>
<i>Datasheet</i>	<i>Lista de principais características</i>
<i>Grip</i>	Sistema de fixação
<i>Layout</i>	Disposição física
<i>Mesh</i>	Malha de elementos finitos
Posteriori	Posteriormente
<i>Sketch</i>	Desenho 2D
<i>Standard</i>	Padrão
<i>Update</i>	Atualização
Zamak	<i>Zink-Akuminium-Magnesium-Kupfer</i> (Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre)

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO ZN-AL [5, 6].....	37
FIGURA 2 - VÁRIAS ETAPAS DO PROCESSO DE INJEÇÃO [4]	42
FIGURA 3 - MÁQUINA DE FUNDIÇÃO INJETADA [4]	42
FIGURA 4 - MÁQUINA DE FUNDIÇÃO EM CÂMARA QUENTE [4].....	44
FIGURA 5 - MÁQUINA DE FUNDIÇÃO EM CÂMARA FRIA [2, 4]	46
FIGURA 6 - CABO APÓS TER SIDO INJETADO UM TERMINAL EM ZAMAK	48
FIGURA 7 - CABO DE COMANDO APÓS A REALIZAÇÃO DA FLOR	50
FIGURA 8 - CABO DE COMANDO APÓS SER FEITA A INJEÇÃO.....	50
FIGURA 9 - CABO DE COMANDO APÓS CORTE DE GITOS.....	51
FIGURA 10 - A) CONSTITUIÇÃO DE UM CABO METÁLICO B) VISTA EM CORTE DOS ELEMENTOS (ADAPTADO (J.SZMIGIELSKA 2007).....	52
FIGURA 11 - SECÇÕES DE CORDAS	52
FIGURA 12 - SECÇÃO DE CABOS	53
FIGURA 13 - COMPORTAMENTO ALONGAMENTO VS. FORÇA DE TRAÇÃO	53
FIGURA 14 - PROCESSOS INENTES AO FABRICO DE CABOS DE COMANDO [25]	57
FIGURA 15 - EXEMPLO DE UM SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO [40]	64
FIGURA 16 - TIPOS DE PROGRAMAÇÃO ADAPTADO [28, 45].....	65
FIGURA 17 - EQUIPAMENTO FLEXÍVEL [49].....	67
FIGURA 18 - SISTEMA ROBÓTICO [56].....	68
FIGURA 19 - VENTOSAS UTILIZADAS PARA CONTROLAR A QUEDA DE CABOS.....	75
FIGURA 20 - ESBOÇO DO SISTEMA DE GUIAMENTO INDEPENDENTE	77
FIGURA 21 - PRIMEIRO ESBOÇO DO SISTEMA DE GUIAMENTO	79
FIGURA 22 - SUPORTES PARA ELEVAR O SISTEMA DE GUIAMENTO	80
FIGURA 23 - MOVIMENTOS DOS CILINDROS DFM	84
FIGURA 24 – AGARRA DHRS-25-A COM EQUIPAMENTO.....	86
FIGURA 25 - SUPORTE DOS CILINDROS	88
FIGURA 26 - DESENHO DA AGARRA COM OS SEUS COMPONENTES.....	89

FIGURA 27 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	90
FIGURA 28 - CHAPA DE SUPORTE DO SISTEMA DE GUIAMENTO	90
FIGURA 29 - ZONA DE FIXAÇÃO DA CHAPA	91
FIGURA 30 - PARÂMETROS DA MALHA DE CÁLCULO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO.....	91
FIGURA 31 - ASPETO DA MALHA UTILIZADA PARA O CÁLCULO	92
FIGURA 32 – ANÁLISE DA TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES MÁXIMA ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS	92
FIGURA 33 – ANÁLISE DA DESLOCAÇÃO MÁXIMA ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS	93
FIGURA 34 - ANÁLISE DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA.....	93
FIGURA 35 - PEÇA EM CHAPA PARA NOVO MODELO.....	94
FIGURA 36 - PERFIL TÉCNICO 30X30 MM2	95
FIGURA 37 - PERFIL TÉCNICO 30X60 MM2	95
FIGURA 38 - PERFIL TÉCNICO 40X40 MM2	95
FIGURA 39 - PERFIL TÉCNICO 40X80 MM2	95
FIGURA 40 - ESBOÇO DO SISTEMA DE GUIAMENTO COM PERFIL TÉCNICO 40X80 MM2.....	96
FIGURA 41 - DESENHO FINAL DO SISTEMA DE GUIAMENTO COM PERFIL TÉCNICO 40X80 MM2	97
FIGURA 42 - SISTEMA DE GUIAMENTO COM PERFIL TÉCNICO 40X80 MM2 MONTADO NA ESTRUTURA .	97
FIGURA 43 - CHAPAS DE SUPORTE DOS CILINDROS	98
FIGURA 44 - JOGO DE MANCAIS	99
FIGURA 45 - MANCAL DA SÉRIE P200 [58]	99
FIGURA 46 - MANCAL DA SÉRIE UCP200 [58].....	100
FIGURA 47 - MANCAL DA SÉRIE UCPA200 [58]	100
FIGURA 48 - TABELA DE SELEÇÃO DE MANCAL UCPA200 [58]	101
FIGURA 49 - ERRO EXISTENTE COM A UTILIZAÇÃO DOS PARAFUSOS M10.....	101
FIGURA 50 - TABELA DE SELEÇÃO DO MANCAL UCP200 [58]	102
FIGURA 51 - SUPORTE DOS MANCAIS	103
FIGURA 52 - SISTEMA DE SELEÇÃO DE CABOS CONFORMES E NÃO- CONFORMES	104
FIGURA 53 - TABELA DE PARAFUSOS DA NORMA ISO 10642 [59]	105
FIGURA 54 - PEÇA DE LIGAÇÃO DO TUBO À CHAPA	106
FIGURA 55 - APERTO DOS PARAFUSOS	106
FIGURA 56 - UNIÃO CHAPA TUBO	106

FIGURA 57 - SISTEMA DE SELEÇÃO DE CABOS COM TRÊS SUPORTES	107
FIGURA 58 - SISTEMA COMPLETO	107
FIGURA 59 - ABAS DA CHAPA	108
FIGURA 60 - PEÇA DE LIGAÇÃO DO CILINDRO AO TUBO	108
FIGURA 61 - PEÇA FINAL DE LIGAÇÃO DO TUBO AO CILINDRO.....	109
FIGURA 62 - CHAPA DE SEPARAÇÃO DE CABOS	111
FIGURA 63 - MONTAGEM FINAL.....	111
FIGURA 64 - CHAPA DE SEPARAÇÃO.....	112
FIGURA 65 - CHAPAS DE SUPORTE DO SISTEMA DE SELEÇÃO.....	112
FIGURA 66 – DISTÂNCIAS (EM MM) ENTRE AS TRÊS FASES DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE ZAMAK	114
FIGURA 67 - PROJETO CAD INICIAL.....	115
FIGURA 68 - ESTRUTURA COMPLETA DO SISTEMA DE GUIAMENTO	116
FIGURA 69 - PARÂMETROS DA MALHA DE CÁLCULO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE GUIAMENTO	121
FIGURA 70 - ASPETO DA MALHA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO SISTEMA DE GUIAMENTO	121
FIGURA 71 - ZONAS DE APLICAÇÃO DAS FORÇAS.....	122
FIGURA 72 - ANÁLISE DA TENSÃO MÁXIMA ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS.....	122
FIGURA 73 - ANÁLISE DO DESLOCAMENTO MÁXIMO ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS.....	123
FIGURA 74 - ZONA DE FIXAÇÃO DO SISTEMA DE GUIAMENTO.....	125
FIGURA 75 - PARÂMETROS DA MALHA DE CÁLCULO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO NA ANÁLISE DINÂMICA	126
FIGURA 76 - ASPETO DA MALHA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DA ANÁLISE DINÂMICA	126
FIGURA 77 - CARGAS APLICADAS NA ESTRUTURA PARA ANÁLISE DINÂMICA	127
FIGURA 78 - ANÁLISE DE VON MISES DINÂMICA	127
FIGURA 79 - ANÁLISE DE DESLOCAMENTO DO ESTUDO DINÂMICO	128
FIGURA 80 - ZONA DE FIXAÇÃO DO SISTEMA DE SELEÇÃO	129
FIGURA 81 - PARÂMETROS DA MALHA DE CÁLCULO UTILIZADA NA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE SELEÇÃO.....	130
FIGURA 82 - ASPETO DA MALHA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO SISTEMA DE SELEÇÃO	130
FIGURA 83 - ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS: TENSÃO DE VON MISES POR AÇÃO DA GRAVIDADE.....	131
FIGURA 84 - ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS: DESLOCAMENTO POR AÇÃO DA GRAVIDADE	131

FIGURA 85 - DISTÂNCIA ENTRE A CHAPA DE SELEÇÃO E RECOLHA DE CABOS	132
FIGURA 86 - ESTRUTURA COMPLETA DO SISTEMA DE SELEÇÃO.....	133
FIGURA 87 - PASSOS EFETUADOS PELA MÁQUINA AQUANDO A CHEGADA À EMPRESA	137
FIGURA 88 - PASSOS EFETUADOS PELA MÁQUINA COM O NOVO SISTEMA DE GUIAMENTO.....	138
FIGURA 89 - VISTA EXPLODIDA DO SISTEMA DE GUIAMENTO.....	141
FIGURA 90 - VISTA EXPLODIDA DO SISTEMA DE SELEÇÃO	142
FIGURA 91 - VISTA EXPLODIDA DO SISTEMA DE SELEÇÃO EM PORMENOR.....	142
FIGURA 92 - CABO DE AÇO REVESTIDO [67].....	154

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES DAS LIGAS DE ZINCO MAIS COMUNS EM FUNDIÇÃO, SEGUNDO A NORMA ASTM B86-09 (ASTM 2009).....	38
TABELA 2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PRINCIPAIS LIGAS DE ZINCO MAIS COMUNS EM FUNDIÇÃO, SEGUNDO A NORMA ASTM B86-09 (ASTM 2009)	39
TABELA 3 - ACESSÓRIOS DE UM CABO DE COMANDO [25].....	55
TABELA 4 - POSSÍVEIS PROCESSOS DE FABRICO PARA UM CABO DE COMANDO [25].....	58
TABELA 5 - ANÁLISE SWOT PARA O EQUIPAMENTO ESCOLHIDO.....	80
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DE DFM-20-100-P-A-GF [57].....	85
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA AGARRA FESTO DHRS-25-A [57]	86
TABELA 8 - COMPARAÇÃO ENTRE OS CILINDROS AEVC-12-10-A-P VS. AEVC-12-10-A-P-A [57]	87
TABELA 9 – DESLOCAMENTOS E TENSÕES EQUIVALENTES DE VON MISES MÁXIMAS PARA CADA UM DOS PERFIS	96
TABELA 10 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CILINDRO PNEUMÁTICO DNSU-12-40-P-A [57]	110
TABELA 11 - TABELA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS CK 45, S235 J E AL5083 [60-62].....	113
TABELA 12 - COMPONENTES DO SISTEMA DE GUIAMENTO	117
TABELA 13 - MOMENTOS DE INÉRCIA À FLEXÃO DE CHAPA COM ABA E SEM ABA	128
TABELA 14 - PEÇAS DO EQUIPAMENTO DE SELEÇÃO	134
TABELA 15 - BOM DOS EQUIPAMENTOS	139
TABELA 16 – AÇÕES DE MANUTENÇÃO NÍVEL 1	143
TABELA 17 – AÇÕES DE MANUTENÇÃO NÍVEL 2	143
TABELA 18 – TABELA FMEA PARA SISTEMA DE GUIAMENTO	145
TABELA 19 - TABELA FMEA PARA SISTEMA DE SELEÇÃO.....	146
TABELA 20 - ESCALA PARA O ITEM OCORRÊNCIA (O).....	146
TABELA 21 - ESCALA PARA OS ITENS GRAVIDADE (G) E DETEÇÃO (D)	146
TABELA 22 - TABELA DE ÍNDICE DE RISCO DO SISTEMA DE GUIAMENTO	147
TABELA 23 - TABELA DE ÍNDICE DE RISCO DO SISTEMA DE SELEÇÃO	148

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Enquadramento	29
1.2	Objetivos	30
1.3	Metodologia	30
1.4	Estrutura da dissertação	31
1.5	Breve introdução à empresa de acolhimento	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	Injeção de ligas leves	35
2.1.1	Fundição de ligas de alumínio	35
2.1.2	Ligas de Zamak	36
2.2	Máquinas de injeção	40
2.2.1	Fundição injetada	40
2.2.2	Máquinas de injeção em câmara quente	43
2.2.3	Fundição em câmara fria	44
2.2.4	Máquinas de injeção de terminais em cabos de comando	46
2.3	Injeção de terminais em cabos de comando.....	48
2.3.1	Sistemas de fazer flor em cabos	49
2.3.2	Injeção de Zamak no cabo	50
2.3.3	Corte dos gitos	51
2.3.4	Cabo metálico	51
2.3.5	Componentes dos cabos de comando	54
2.3.6	Processos associados ao fabrico	57
2.4	Automação ligada a processos industriais	61
2.4.1	Sistema de apoio à produção manual	63
2.4.2	Sistemas semiautomáticos	64

2.4.3	Sistemas automáticos	65
2.4.4	Sistemas robotizados	67
3	DESENVOLVIMENTO	73
3.1	Empresa de acolhimento.....	73
3.2	Objetivos do trabalho prático	73
3.3	Descrição da situação inicial.....	74
3.3.1	Sistema de guiamento	74
3.3.2	Sistema de seleção de cabos	76
3.4	<i>Brainstorming</i>	76
3.4.1	Sistema de guiamento independente	76
3.4.2	Sistema de tapete de guiamento	77
3.4.3	Sistema de guiamento com apoio do sistema de alimentação	78
3.4.4	Sistema de seleção de cabos	79
3.5	Análise SWOT das ideias.....	80
3.6	Anteprojeto da ideia selecionada	81
3.6.1	Sistema pneumático	81
3.6.2	Sistema elétrico	82
3.6.3	Sistema híbrido	83
3.6.4	Sistema de guiamento	83
3.6.5	Sistema de selecionador de cabos	98
3.7	Projeto mecânico e dimensionamento	113
3.7.1	Sistema de guiamento	114
3.7.2	Sistema de seleção de cabos	128
3.8	Projeto de automação.....	136
3.9	Lista de peças, componentes e orçamentação	139
3.10	Instruções de montagem	141
3.11	Manual de manutenção	143

3.12	Análise FMEA.....	144
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	153
4.1	CONCLUSÕES.....	153
4.2	Proposta de Trabalhos Futuros	154
5	BIBLIOGRAFIA	157
5.1	Bibliografia.....	157
6	ANEXOS	162
6.1	ANEXO1	162
6.2	Anexo 2.....	163
6.3	Anexo 3.....	164
6.4	Desenhos Técnicos	168

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura da dissertação

1.5 Breve introdução à empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Numa indústria cada vez mais competitiva a todos os níveis, a constante inovação e a qualidade são pilares para o crescimento e o sucesso de uma empresa. Em linha com estes fatores, a produtividade é outro fator extremamente importante. Desta forma, a automatização representa um papel preponderante para permitir esse aumento contante da produtividade.

Assim, o desenvolvimento ou aquisição de equipamentos mais autónomos torna-se uma prioridade para as empresas. É então necessário que empresas que criam máquinas para produção, trabalhem em parceria com os seus clientes, de forma a entenderem de que forma podem ter um produto mais eficaz e com um preço mais competitivo para os seus clientes.

Para além disto, e devido à inovação constante, estes equipamentos devem também ser extremamente flexíveis, pois a evolução constante assim o requer, sendo habitual um produto começar a ser produzido de uma forma e, na sua última fase, ser produzido de uma forma diferente.

No caso de máquinas para produção de componentes, cujo custo é relativamente baixo, a cadência torna-se um ponto extremamente importante, pois é necessário que a produção amortize o custo do investimento e comece a gerar proveitos o mais rapidamente possível.

Os equipamentos em estudo neste trabalho assentam em todos estes princípios:

- Criação de produtos com qualidade;
- Elevada automatização;
- Flexibilidade;
- Alta cadência;
- Preço competitivo.

Assim, e de forma natural, estes equipamentos têm sofrido ao longo dos anos um forte desenvolvimento, por forma a responder aos princípios acima enumerados. Se nos anos 90 o processo envolvia sempre um ou mais operadores, atualmente os processos tendem a ser cada vez mais autónomos, até atingirem a autonomia total.

1.2 Objetivos

Devido aos princípios anteriormente enumerados, este trabalho teve como principal objetivo tornar um dado equipamento mais autónomo. Este equipamento tem como finalidade a injeção de Zamak na extremidade de cabos de aço. Tem também a capacidade de produzir estes cabos, com diferentes comprimentos, permitindo assim uma enorme flexibilidade deste equipamento. Assim, a necessidade permanente de inovação levou à necessidade de um equipamento acessório que obrigasse os cabos de aço a serem “descarregados” de forma controlada e alinhada na base que os suporta, após a injeção de metal nas suas extremidades. Atualmente, é necessária a alocação de meios humanos para este processo, os quais teoricamente não são necessários, pois só o são atualmente devido à limitação que o equipamento apresenta nesta fase. Assim, os principais objetivos deste trabalho são:

- Desenvolver um equipamento acessório que permita o guiamento e correto posicionamento dos cabos na sua base;
- Que este equipamento seja simples e robusto;
- Garantir que não existe qualquer impacto na estrutura da máquina, devido à instalação deste equipamento acessório;
- Minimizar o impacto deste equipamento no custo final da máquina;
- Minimizar o tempo de montagem do equipamento acessório.

1.3 Metodologia

Com vista à prossecução dos objetivos propostos, foi estabelecido um procedimento de trabalho que utilizou a seguinte metodologia:

- Estudo e análise das soluções existentes atualmente no mercado;
- Análise de um possível sistema para solucionar o problema existente;
- Análise da máquina existente atualmente, de forma a ser possível fazer a instalação do equipamento em estudo;
- Análise de possíveis dispositivos para a criação do projeto;
- Realização de esboços de possíveis alternativas;
- Análise da melhor alternativa possível, de forma a proceder ao projeto;
- Projeto do equipamento para guiamento e posicionamento dos cabos metálicos;
- Dimensionamento dos componentes críticos;
- Realização de protótipos para estudo do modelo desenvolvido;
- Testes ao equipamento;

- Criação de toda a documentação necessária para o equipamento.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos principais, sendo eles:

1. Introdução;
2. Revisão bibliográfica;
3. Desenvolvimento;
4. Conclusões;
5. Bibliografia.

No primeiro capítulo, Introdução, é realizada uma contextualização do trabalho, são traçados os objetivos, são definidas as metodologias utilizadas para atingir esses objetivos, é descrita a estrutura do trabalho e é apresentada a empresa que serviu de base ao mesmo.

O segundo capítulo é aquele que apresenta os conceitos teóricos que estiveram na base do desenvolvimento do equipamento pretendido.

No terceiro capítulo é apresentado todo o desenvolvimento do equipamento, desde as ideias iniciais até ao desenho, passando pelo custeio, dimensionamento e projeto mecânico.

No capítulo quatro são tiradas as conclusões de todo o trabalho desenvolvido e destacados quais os pontos positivos e negativos de todo o trabalho.

No quinto e último capítulo, é apresentada a bibliografia onde estão descritas todas as fontes que foram utilizadas como suporte teórico ao desenvolvimento deste trabalho.

1.5 Breve introdução à empresa de acolhimento

A empresa que solicitou este projeto foi a PR Metal, que está inserida no Grupo PR. Esta empresa está situada na Maia e tem como objetivo o desenvolvimento e produção de componentes para o ramo automóvel, assim como o desenvolvimento e projeto de processos industriais para o mesmo fim.

O trabalho foi desenvolvido em parceria com a empresa durante um período de nove meses, merecendo o acompanhamento do Sr. Eng^o Mário Cardoso por parte da empresa, que definiu as premissas iniciais e auxiliou na condução das soluções entretanto encontradas para a resolução do problema inicialmente proposto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Injeção de ligas leves

2.2 Máquinas de injeção

2.3 Injeção de terminais em cabos de comando

2.4 Automação ligada a processos industriais

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Injeção de ligas leves

As ligas leves podem-se dividir em dois grandes grupos, sendo elas as ligas de alumínio e as ligas Zamak.

O presente trabalho, está focado nas ligas de Zamak sendo estas as utilizadas pelo equipamento. Existem duas formas de fazer a injeção de Zamak; injeção em câmara quente e injeção em câmara fria. A diferença entre estes dois tipos será abordada posteriormente.

2.1.1 Fundição de ligas de alumínio

As ligas de alumínio são as mais utilizadas na fundição injetada. Estas apresentam uma boa relação entre o peso, a sua resistência mecânica e o seu ponto de fusão, sendo facilmente fundidas. Contudo, o alumínio apresenta uma enorme turbulência quando é injetado, o que leva a uma deterioração rápida do molde. Para reduzir essa turbulência, deverá ser feita uma redução da velocidade de enchimento, o que leva à redução da cadência de produção, podendo ser um fator pouco interessante para a indústria [1].

A utilização de alumínio em fundição injetada começou no século XX, o que levou a uma revolução no projeto de equipamentos industriais. Inicialmente foi problemática, pois o alumínio facilmente danificava grande parte dos equipamentos. Após várias pesquisas, descobriu-se que o êmbolo da máquina não poderia estar em contacto direto com o material em trabalho (alumínio).

Atualmente, a fundição injetada de alumínio é geralmente efetuada de duas formas; em câmara quente e em câmara fria. A principal diferença reside na forma como o alumínio é fornecido ao sistema de alimentação [2].

Apresentam-se de seguida as possíveis hipóteses para explicar o comportamento turbulento do alumínio dentro do molde [3]:

1. Quando a liga é injetada a alta temperatura, esta comporta-se como um fluido hidráulico até ao término do enchimento do molde;
2. O molde será sempre preenchido primeiramente pelos caminhos que tem menor resistência, até encontrar um obstáculo, tornando-se assim num fluxo turbulento;

3. O sistema de fundição injetada funciona em regime turbulento, no qual a liga é injetada a alta velocidade dentro do molde.

Foi efetuada uma análise a cada um dos passos de injeção: canal de alimentação, canal de vazamento e cavidade do molde. Verificou-se então que o “fluido” não se comporta sempre da mesma forma. Dependendo da geometria do molde, a liga injetada poderá alterar o seu regime.

Quando o pistão se começa a movimentar, forma-se uma onda com o número de Reynolds crítico (2000-3000). Esse estado normalmente é apresentado na zona frontal da onda, o que leva a crer que todo o restante “líquido” esteja em regime laminar.

Por forma a eliminar qualquer tipo de turbulência, no momento imediatamente antes do enchimento do molde, o metal líquido deverá ficar em repouso no canal de enchimento cerca de dez segundos, eliminando assim esse possível problema.

No entanto, existem três fatores que podem afetar o estado do produto final:

- O comportamento térmico da liga, que é determinado pelas propriedades do material;
- A distância entre o alimentador da liga (em estado líquido) e o canal de distribuição para a cavidade do molde;
- A forma geométrica do canal que define o perfil de escoamento do metal líquido.

Para além da existência dos três fatores anteriormente descritos, existem ainda outros que poderão condicionar a qualidade do produto final: o estado do molde, a complexidade da geometria da peça, o modo de operação da máquina e a estabilidade dimensional da liga.

2.1.2 Ligas de Zamak

No presente trabalho, o material utilizado no equipamento é o Zamak. Por esse motivo, torna-se essencial o estudo e a compreensão deste material.

O Zamak é uma liga metálica de baixo custo, constituída essencialmente por Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre [2]. Esta liga começou a ser estudada nos Estados Unidos da América, no início do século XX, em processos de fundição por gravidade. O Magnésio tem a função de endurecer a liga, assim como compensar os efeitos das impurezas metálicas presentes e diminuir a corrosão intergranular. No entanto, o Magnésio leva a uma diminuição da colabilidade da liga e à perda de ductilidade. Já o alumínio tem a função de melhorar a fluidez e a colabilidade da liga, assim como aumentar a tensão de rotura, da tensão de limite elástico e a tensão limite de fadiga [4].

Existem alguns tipos de liga Zamak. A principal diferença entre elas e a forma que as identifica é a percentagem de cobre. Quanto maior a percentagem de cobre, maior é a sua dureza, tensão de rotura, resistência à fluência e resistência à corrosão. Quanto menor a quantidade de cobre, menor a sua ductilidade. Se a percentagem de cobre for superior a 1,25%, podem ocorrer variações dimensionais na peça.

As ligas de Zinco são utilizadas na fundição injetada há mais de 60 anos. Inicialmente, estas ligas baseavam-se numa composição hipo-eutética do diagrama Zn-Al, com percentagens de alumínio perto dos 4%. No caso destas ligas, o teor de alumínio está limitado a 4,3 %, A partir daí, verifica-se uma forte queda da tenacidade [5].

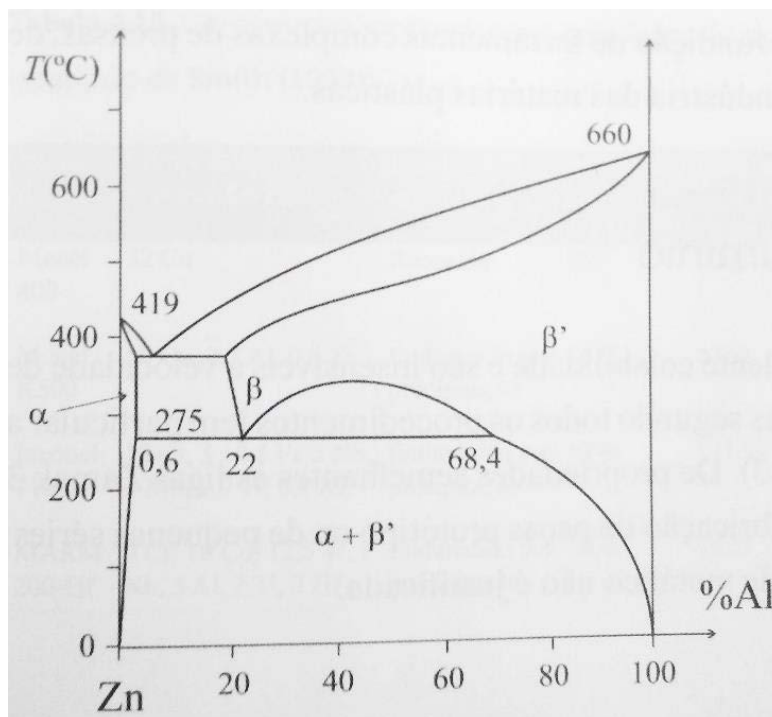


Figura 1 – Diagrama de equilíbrio Zn-Al [5, 6]

As principais ligas de Zamak são:

Zamak 2 – Apresenta uma maior fluência e resistência a longo prazo, é normalmente utilizada como material de chumaceiras;

Zamak 3 – Alta resistência ao impacto e boa ductilidade, utilizada em revestimentos devido ao bom acabamento que apresenta;

Zamak 5 – Frequentemente utilizada na indústria automóvel, devido à sua elevada resistência à fluência e dureza.

Zamak 8 – Tem uma resistência superior ao Zamak 3 e 5. Muito utilizada em revestimentos e opções de acabamento.

As ligas de Zamak são bastante utilizadas na fundição injetada, pelo facto de permitirem a criação de paredes muito finas, elevados níveis de precisão e uma grande flexibilidade. Desta forma, é possível obter peças complexas com tolerâncias apertadas. Assim, o Zamak tanto pode ser utilizado para uma peça decorativa, como para uma peça com uma funcionalidade específica. Por norma, estas ligas são muito utilizadas para ferragens, equipamento eletrónico, joalheria, equipamento de escritório e brinquedos. Na Tabela 1, podemos ver as propriedades mecânicas das várias ligas de Zinco.

Na Tabela 2 temos a composição química das várias ligas de Zinco.

Tabela 1 - Propriedades das ligas de Zinco mais comuns em fundição, segundo a norma ASTM B86-09 (ASTM 2009)

Designação corrente	Unidades	Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	Zamak 7	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Designação UNS		Z35541	Z33520	Z35531	Z33523	Z35636	Z35631	Z35841
Tensão de rotura	MPa	359	283	328	283	374	404	425
Tensão limite elástico	MPa	-	221	228	221	290	320	376
Extensão após rotura	%	7	10	7	13	6-10	4-7	1-3
Dureza	Escala de Brinell	100	82	91	80	103	100	119
Resiliência	J	47	58	65	58	42	-	12.8
Módulo de elasticidade	GPa	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5	82,7	77,9
Massa específica	kg/m^3	6600	6600	6600	6600	6300	6030	5000

Temperatura de fusão	°C	379-390	381-387	380-386	381-387	375-404	377-432	375-478
Coefficiente de expansão térmica	mm/m/°C	27,7	27,4	27,4	27,4	23,3	24,2	26
Contração na solidificação	%	1,25	1,17	1,17	1,17	1,1	1,3	1,3
Mingas em fundição	mm/mm	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0075	0,008

Tabela 2 – Composição química das principais ligas de Zinco mais comuns em fundição, segundo a norma ASTM B86-09 (ASTM 2009)

Designação corrente	Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	Zamak 7	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Designação UNS	Z35541	Z33520	Z35531	Z33523	Z35636	Z35631	Z35841
Alumínio	% 3,5-4,3	3,5-4,3	3,5-4,3	3,5-4,3	8,0-8,8	10,5-11,5	25,0-28,0
Magnésio	% 0,02-0,05	0,02-0,05	0,03-0,08	0,005-0,02	0,015-0,03	0,015-0,03	0,015-0,03
Cobre	% 2,5-3,0	0,25 máx.	0,75-1,25	0,25 máx.	0,8-1,3	0,5-1,2	2,0-2,5
Ferro máx.	% 0,1	0,1	0,1	0,075	0,075	0,075	0,075
Chumbo máx.	% 0,005	0,005	0,005	0,003	0,006	0,006	0,006
Cadmio máx.	% 0,004	0,004	0,004	0,002	0,006	0,006	0,006
Estanho máx.	% 0,003	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003
Níquel máx.	% --	--	--	0,005-	--	--	--

0,02

Zinco	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

As grandes vantagens das ligas de Zinco são:

- Boa resistência à corrosão;
- Boa resistência ao desgaste;
- Boa resistência ao choque;
- Baixo ponto de fusão;
- Boa resistência à tração;
- Boas propriedades para a fundição;
- Baixo desgaste nos moldes.

2.2 Máquinas de injeção

2.2.1 Fundição injetada

A fundição injetada é um processo de moldação permanente de ligas metálicas a altas pressões e velocidades. Por norma, as ligas utilizadas neste processo são ligas não ferrosas, como as de alumínio, zinco, magnésio e cobre [3, 4].

Este processo de fundição permite elevadas taxas de produtividade, devido às elevadas velocidades, à utilização de moldações permanentes e à forte automatização utilizada neste tipo de equipamentos [7]. Dependendo das dimensões das peças a produzir, é possível obter centenas ou até milhares de peças por hora [8].

Os primeiros registos da utilização desta técnica datam de 1949 nos Estados Unidos da América. Contudo, nos últimos anos, esta técnica de fundição tem sofrido uma grande evolução, devido à automação incluída nas máquinas de injeção, levando assim à utilização desta técnica de fundição na conceção de peças comerciais [9, 10]. As principais vantagens da fundição injetada podem ser descritas como:

- Elevada precisão dimensional;
- Excelente qualidade superficial (rugosidades de $Ra=0,4$ a $3,2 \mu m$);
- Boas propriedades de resistência mecânica;
- Elevada produtividade;
- Possibilidade de obtenção de espessuras mais finas que outros processos;
- Necessidade de acabamentos finais muito reduzida.

Desvantagens:

- Baixa tenacidade e ductilidade das peças produzidas;
- Processo com elevado investimento inicial;
- Processo complexo e dispendioso no fabrico de moldes;
- Elevadas porosidades e micro porosidades internas nas peças fundidas;
- Economicamente viável apenas para elevadas séries de produção.

Processo

Para se iniciar o processo de fundição injetada, é necessário aquecer a liga até uma temperatura superior à temperatura de fusão. É normal, em algumas empresas, existir um forno de fusão de metais ou ligas, independente do equipamento de fundição injetável, levando muitas vezes a que a liga fundida seja transportada por cadinhos refratários para fornos de manutenção que estão incorporados no equipamento de injeção.

Como se pode ver pela Figura 2, para iniciar o processo de injeção, as moldações são fechadas e irão permanecer neste estado até que a liga seja injetada. É fundamental que as máquinas apresentem uma força de fecho das moldações que permita compensar a pressão que será introduzida no interior da moldação durante o processo de injeção. É normal que este tipo de equipamento tenha forças de fecho que variem entre 100 e 2000 toneladas. Esta força depende essencialmente das dimensões da peça a produzir [11].

No primeiro passo da injeção, o pistão avança lentamente, até que o metal encha o sistema de gitagem na moldação. De seguida, é feita a injeção a grande velocidade para preencher as cavidades do molde com o metal fundido. A velocidade e a aceleração são controladas de forma a otimizar o fluxo de metal no enchimento da moldação. Após a injeção, a liga arrefece e solidifica durante um espaço de tempo muito reduzido (segundos ou até menos), devido à transferência de calor para o molde metálico. Durante o arrefecimento do material na moldação, o pistão continua a aplicar pressão, dando-se assim a fase de compactação. Esta fase permite: a obtenção de tolerâncias apertadas, espessuras finas, formas complexas, menores porosidades e menor quantidade de rechupes. Por fim, quando o metal está completamente solidificado, abrem-se as moldações e cortam-se os gitos, separando a peça do sistema de alimentação [2].

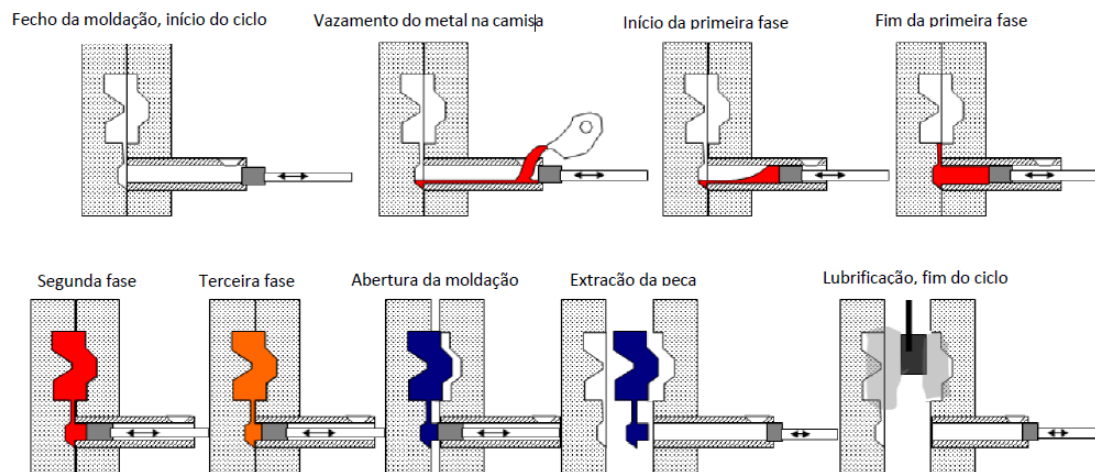


Figura 2 - Várias etapas do processo de injeção [4]

É importante referir que, durante cada ciclo de injeção, normalmente aplica-se um lubrificante na moldação para permitir um arrefecimento mais rápido e deixar a peça antiaderente, de forma a permitir a sua fácil extração [4]. Na Figura 3 pode-se ver os vários constituintes de uma máquina de fundição injetada.

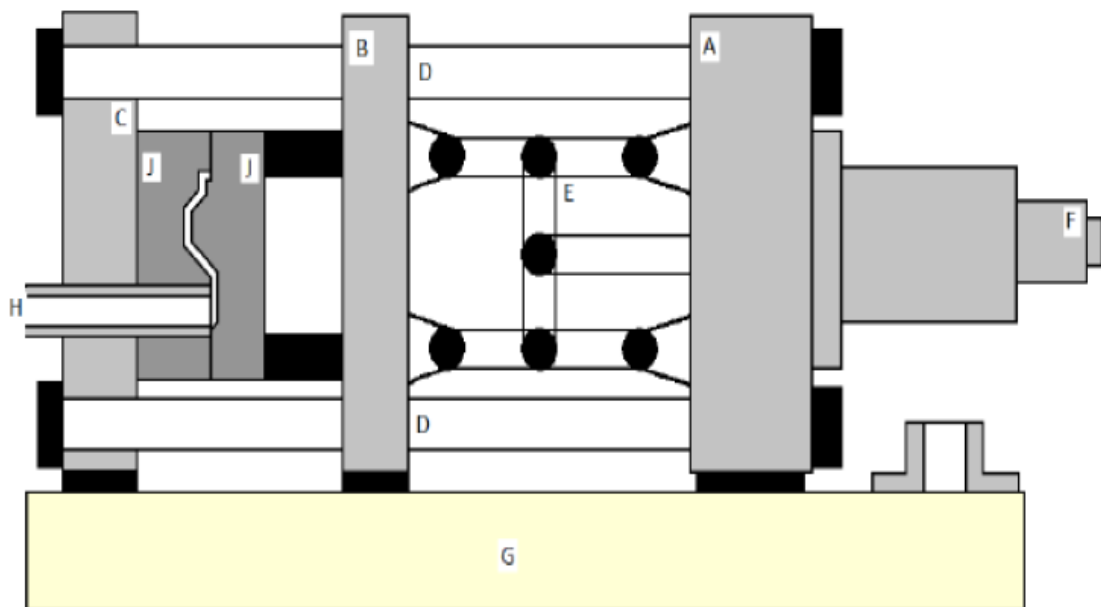


Figura 3 - Máquina de fundição injetada [4]

Os constituintes da máquina são:

- A. Placa impulsadora;
- B. Placa móvel;
- C. Placa fixa;
- D. Tirantes;
- E. Sistema de alavancas;
- F. Braço de fecho;
- G. Base da máquina;
- H. Sistema de injeção;
- I. Moldação.

Como já referido anteriormente, existem dois tipos principais de máquina de injeção de ligas metálicas: as máquinas de injeção em câmara quente e as máquinas de injeção em câmara fria.

2.2.2 Máquinas de injeção em câmara quente

Este nome é assim atribuído pois, neste tipo de equipamentos, o pistão e o cilindro estão submersos em metal líquido. Inicialmente, o molde está fechado e o pistão é forçado a comprimir o metal líquido, levando com que este saia do cilindro e preencha o molde. O fluido ficará no interior do molde sob pressão até solidificar. De seguida, é então aberto o molde e retirada a peça. Este é o ciclo utilizado neste tipo de máquinas.

Facilmente podemos concluir que a zona da peça que estará mais sujeita a problemas será a zona do molde onde o metal líquido chegará por último, pois nessa zona o material será injetado a menor temperatura. Contudo, existem atualmente estudos térmicos que permitem otimizar as matrizes, de forma a prevenir este problema. Existem até moldes que contêm zonas de transbordo, para evitar esses mesmos problemas em relação à temperatura do material injetado.

Este sistema permite um rápido enchimento do molde e com baixa perda de temperatura da liga. É normalmente utilizado em ligas com baixo ponto de fusão, como o Zamak e o Chumbo [4, 12]. Na Figura 4 pode-se ver o esquema de uma máquina de injeção em câmara quente. Estão definidos os componentes deste equipamento.

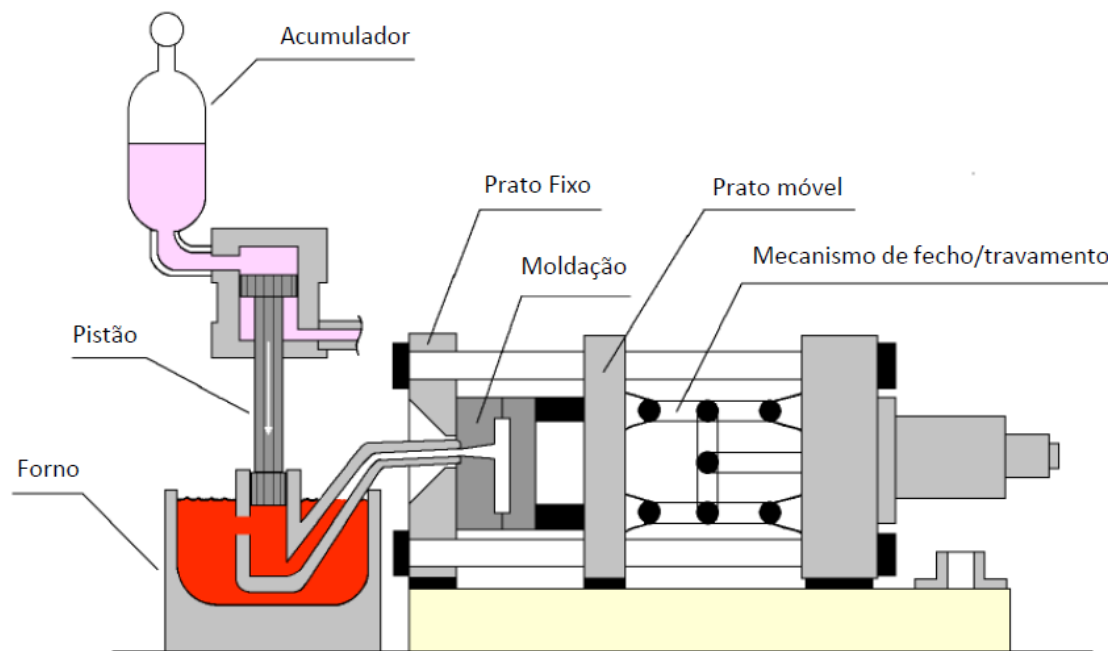


Figura 4 - Máquina de fundição em câmara quente [4]

2.2.3 Fundição em câmara fria

Ao contrário da fundição injetada em câmara quente, o êmbolo e o cilindro não estão submersos no metal líquido. Este processo é normalmente utilizado em ligas de Alumínio-Zinco, que têm uma temperatura de fusão bastante superior às utilizadas no processo anterior. Isto levaria a que o cilindro e o pistão se danificassem, no caso de estarem submersos nesse metal líquido.

Este processo de injeção é cada vez mais utilizado, devido às exigências crescentes dos materiais, e também porque as peças fundidas por este princípio apresentam melhor qualidade [13]. Pelo facto de ser possível fundir materiais com um ponto de fusão mais elevado, são muitas vezes fundidas peças de Magnésio, Latão e Alumínio, com pontos de fusão superiores aos utilizados na fundição em câmara quente [12].

O processo de fundição em câmara fria pode ser dividido em três fases:

1. Aproximação e enchimento do cilindro e dos ataques;
2. Enchimento das cavidades da moldação;
3. Compactação.

A primeira fase começa com o enchimento do canal de alimentação com o metal fundido, acompanhado da expulsão do ar presente no canal de alimentação e de um avanço lento do pistão que empurra o metal pelos canais de gitagem, até que este alcance a entrada da cavidade moldante. Esta fase deverá ser o mais curta possível, de forma a evitar uma acentuada perda de temperatura por parte da liga, assim como evitar a oxidação do metal fundido. Deverá ser também lenta o suficiente, de forma a eliminar as bolhas de ar [12].

Na segunda fase, existe o avanço rápido do êmbolo, que visa encher a alta velocidade a cavidade moldante. É nesta fase que ocorre o aumento de pressão dentro do molde. A energia cinética do metal, resultado do movimento do pistão, pode levar a uma abertura indevida da moldação, que poderá potenciar a ocorrência de acidentes de trabalho indesejados. Por forma a evitar esse problema, durante o desenho da cavidade moldante dever-se-á ter em atenção a forma, localização e orientação dos ataques. Estas condições irão permitir peças de maior qualidade e uma maior durabilidade da moldação [4, 12].

Após o enchimento, entra-se na terceira fase – compactação. Nesta fase decorre o processo de solidificação. É importante referir que a pressão no molde se mantém constante mesmo após a solidificação do metal. Esta pressão é necessária para permitir o melhor enchimento de zonas difíceis existentes no molde, colmatar posteriores contrações, reduzir a dimensão das bolhas aprisionadas e reduzir o tamanho de grão, melhorando assim as características das peças [4]. Existe o interesse que a solidificação só comece a ocorrer após o enchimento total do molde, de forma a evitar possíveis defeitos na peça. As pressões existentes nesta fase podem chegar aos 1000 bar [2].

Os parâmetros mais importantes na fundição por injeção são a temperatura e a velocidade de injeção. Também é importante garantir que o regime turbulento só aconteça dentro do molde, e nunca no canal de distribuição [2]. Na Figura 5 pode-se ver o esquema de uma máquina de injeção em câmara fria. Estão definidos também os componentes deste equipamento.

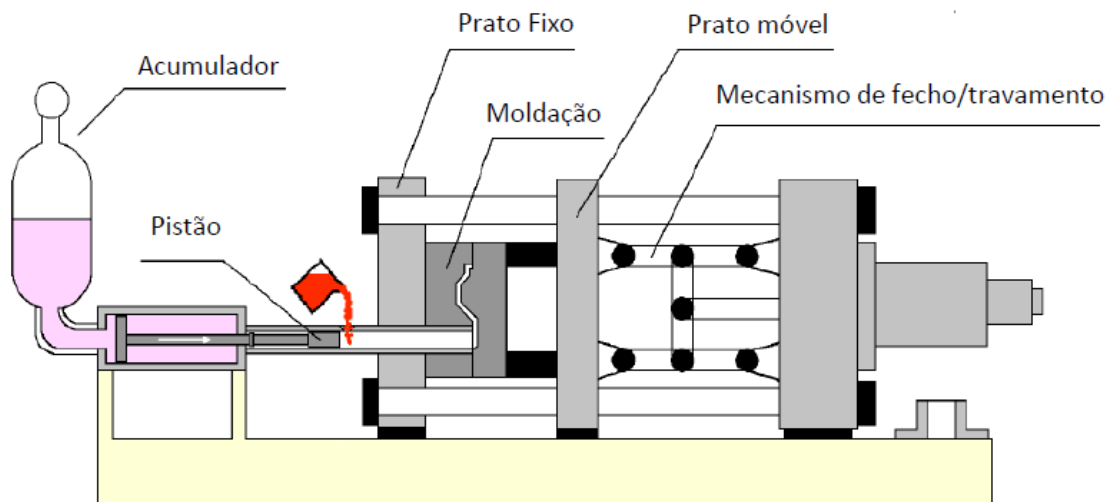


Figura 5 - Máquina de fundição em câmara fria [2, 4]

2.2.4 Máquinas de injeção de terminais em cabos de comando

As primeiras máquinas de injeção de terminais em cabos de comando foram máquinas de acionamento manual, também conhecidas por máquinas de Zamak manuais [14]. Naturalmente, e com a evolução da indústria, foram começando a surgir máquinas que possibilitaram uma maior produtividade e que tornaram o processo mais automatizado, as máquinas semi-automáticas e, por fim, as automáticas [15].

Irão agora ser listados os princípios de funcionamento da máquina manual, semi-automática e automática:

Máquinas manuais

Princípio de funcionamento:

1. É colocado o cabo com flor (secção 2.3.1) no molde, e este irá fechar automaticamente.
2. Injeção da liga no molde.
3. Abertura do molde e extração do cabo.

Previamente, foi necessário um equipamento para fazer a flor no cabo, como é referido no ponto 1 e, após este processo, é necessário fazer o corte do gito.

Esta máquina requer a intervenção contínua de um operador. Visto ser um trabalho repetitivo, este pode levar a erros por parte do operador, o que conduz a acidentes de trabalho e a custos acrescidos por parte da empresa. Por esse motivo, são cada vez mais utilizadas as máquinas semi-automáticas.

Máquinas semi-automáticas

Ao contrário das máquinas manuais, este equipamento tem já incorporado um sistema de fazer a flor no cabo e de corte do gito, assim como um sistema que permite a movimentação do cabo pelas três fases:

1. Realização da flor;
2. Injeção de Zamak;
3. Corte dos gitos.

Este sistema é denominado de *transfer*. O *transfer* permite que o operador tenha apenas de introduzir a ponta do cabo na zona onde será feita a flor, e este irá realizar os restantes movimentos:

1. Após o cabo ser introduzido no mecanismo que irá fazer a flor, existe um sensor que dará ordem para que seja realizada a flor; em simultâneo, dará ordem também para acionar o *transfer*;
2. O *transfer* pegará no cabo (já com a flor feita), e irá posicioná-lo dentro do molde;
3. Existe um sensor que deteta que o cabo está dentro do molde;
4. Após detetar o cabo no molde, é efetuada a injeção de Zamak;
5. Com a injeção feita, o *transfer* irá posicionar o cabo, de forma a serem cortados os gitos do terminal.

Máquinas automáticas

Neste tipo de equipamentos, todos os processos anteriormente descritos são automáticos. Esta máquina é alimentada com uma bobina de cabo, pois esta corta o cabo, posiciona-o na zona de fazer a flor, e também inclui o *transfer* que posiciona o cabo nas várias etapas.

Este equipamento permite assim uma elevada cadência de produção de cabos com terminais [16]. É também um sistema que tem a flexibilidade de produzir cabos com as dimensões que pretendemos, assim como permitir realizar vários tipos de terminais (algo que também é possível com os sistemas manuais e semi-automáticos). Apesar do seu preço ser superior face aos outros sistemas, este equipamento tem sido cada vez mais utilizado pelas empresas, tanto pela sua elevada cadência de produção, como pela rentabilidade que apresenta.

2.3 Injeção de terminais em cabos de comando

Existem várias formas de transmitir movimento entre um ou mais sistemas, nomeadamente meios mecânicos, eletromecânicos e pneumáticos.

Um cabo, será assim um meio de transmissão de movimento mecânico. Este sistema pode ser dividido em duas partes: atuadores e recetores.

As forças de acionamento são aplicadas aos sistemas atuadores que, por intermédio de cabos irão transmitir essas forças a um ou mais sistemas recetores. Uma das grandes vantagens da utilização de cabos como meio de transmitir um dado movimento, é a possibilidade de realizar diversos percursos [17]. Com isto, pretende-se dizer que a força a percorrer entre o atuador e o recetor, poderá não ser necessariamente um caminho retilíneo [18, 19].

As ligações destes cabos são sempre realizadas através de terminais de cabo, como se pode ver na Figura 6.



Figura 6 - Cabo após ter sido injetado um terminal em Zamak

Estes terminais podem adquirir as mais diversas formas, e podem ser obtidos segundo vários processos produtivos, desde torneamento a estampagem, passando pelo forjamento e injeção [20]. O processo de injeção é apenas aplicado a terminais de Zamak, enquanto os outros processos produtivos são muitas vezes utilizados em terminais de aço ou aço inoxidável [21].

Devido à crescente necessidade no aumento de produtividade e à competitividade do mercado, começaram a ser produzidos em 1994 os terminais em Zamak. Este tipo de terminais tem como principal característica o material ser injetado diretamente sobre o cabo, eliminando assim operações de prensagem e posterior zincagem, uma vez que o Zamak (como já referido) é uma liga de Zinco e Alumínio [22].

A utilização de Zamak em terminais de cabo, apresenta as seguintes vantagens:

- Possibilita um número mais alargado de geometrias;
- Maior produtividade;
- Dimensionalmente estável;
- Baixo custo de material;
- Não necessidade da operação de prensagem;
- Maior resistência à corrosão;
- Processos mais rápidos e simples;
- Facilidade de implementação de sistemas automáticos ou semi-automáticos.

As suas desvantagens são:

- Maior consumo de energia por parte das máquinas de injeção;
- Necessidade de mão-de-obra para fazer a flor;
- Dificuldade em suportar cargas de tração angular.

Em relação aos esforços de tração, a capacidade dos terminais de Zamak ou terminais prensados é idêntica. Verifica-se que essa capacidade está fortemente dependente de outros fatores, como a geometria do terminal ou o tipo de cabo a ser utilizado [23].

2.3.1 Sistemas de fazer flor em cabos

Este tipo de sistema foi desenvolvido para criar uma maior área de contacto entre o terminal de Zamak e o cabo. O facto da área coberta com o metal injetado ser maior, leva à obtenção de um maior valor de resistência à tração.

Os fatores mais importantes para uma flor são a sua geometria, posicionamento no molde e dimensões.

A flor deve ser colocada no interior da cavidade do molde, onde será injetado o Zamak. Este posicionamento tem naturalmente uma tolerância cuja dimensão está diretamente relacionada com a geometria do terminal da flor. Na Figura 7 pode-se ver um cabo após ter sido efetuada a flor.



Figura 7 - Cabo de comando após a realização da flor

2.3.2 Injeção de Zamak no cabo

Após a realização da flor, é feita a injeção de Zamak no cabo de aço. Esta é sempre feita com um posicionamento prévio do cabo num molde metálico. Para a injeção ser feita corretamente, a flor deverá ser posicionada a meio do terminal, de forma a cobrir a maior área possível do material injetado. Contudo, no caso de terminais mais complexos, deveremos ter em consideração:

- Afastamento da flor das zonas de esforço e/ou tensão do próprio terminal;
- Conhecimento de quais os esforços axiais e de flexão a que o cabo será sujeito.

O desenho do molde para a injeção de Zamak deve também ter em conta outros fatores que foram anteriormente enumerados na secção 2.2.3. Na Figura 8 é possível verificar um cabo após ter sido efetuada a injeção.



Figura 8 - Cabo de comando após ser feita a injeção

2.3.3 Corte dos gitos

Por fim, devemos cortar os gitos que foram utilizados para alimentar o molde. Esta operação pode ser efetuada manualmente, ou por processos automatizados, embora atualmente seja cada vez mais utilizada a forma automatizada. Na Figura 9 podemos verificar um cabo de comando após o corte dos gitos.



Figura 9 - Cabo de comando após corte de gitos

2.3.4 Cabo metálico

A constituição e propriedades dos cabos metálicos são inúmeras. Como tal, a sua seleção deve ser cuidada.

A constituição base de um cabo metálico é o filamento. O enrolamento de dois ou mais filamentos origina a corda. O enrolamento de várias cordas em torno de um núcleo central origina o cabo, que pode ou não ter um revestimento exterior. O revestimento exterior é normalmente feito em vinil (PVC), poliamida (PA) ou polipropileno (PP), e tem como principal funcionalidade, evitar a oxidação do cabo e, conseqüente, perda de propriedades [5, 18].

Na Figura 10 pode-se verificar a constituição de um cabo metálico.

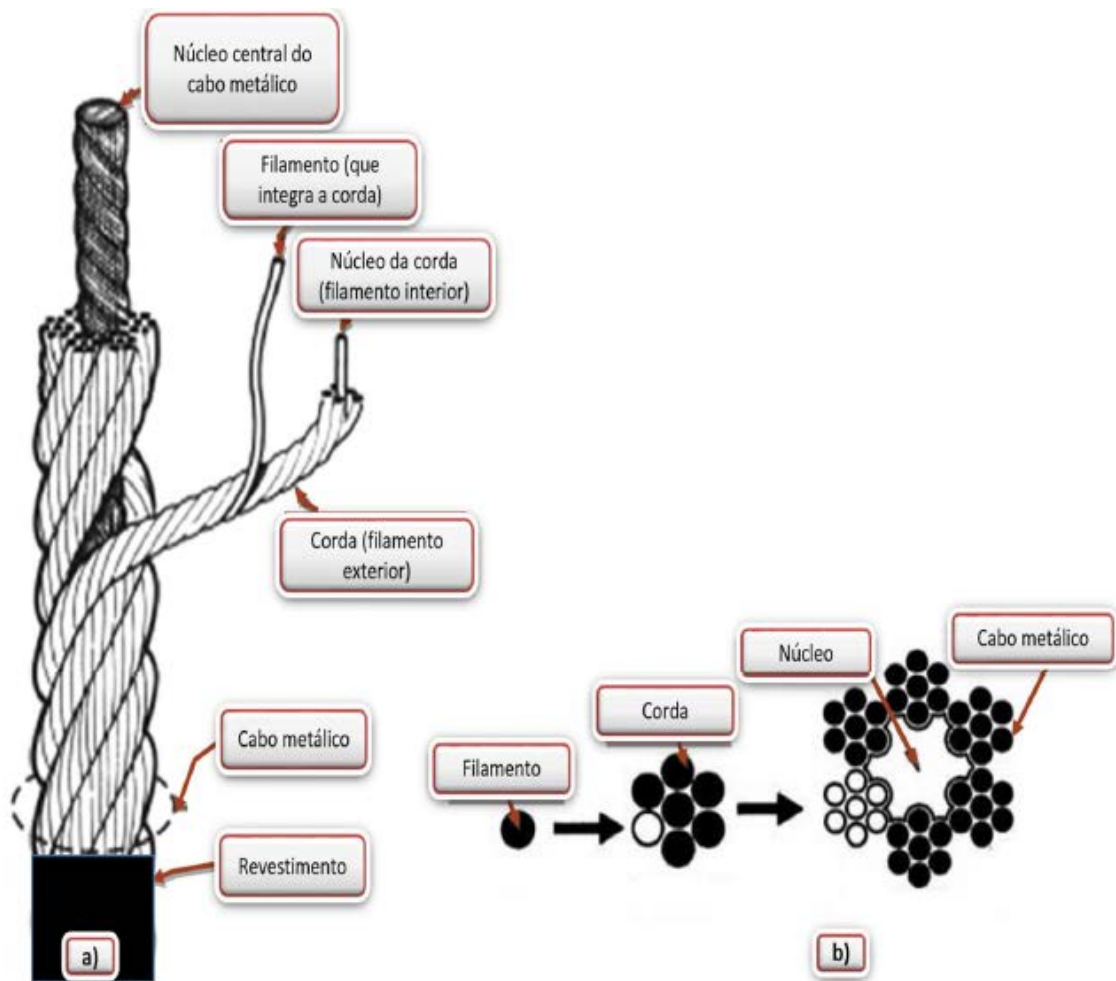


Figura 10 - a) Constituição de um cabo metálico b) Vista em corte dos elementos (adaptado (J.Szmigielska 2007)

Como se pode ver pela Figura 10, a corda é constituída por um conjunto de filamentos. Como se pode verificar pela Figura 11, a designação do filamento é definida por “1x” seguido do número de filamentos total, incluindo o filamento do núcleo. No exemplo da Figura 11 podemos ver uma corda 1x7 e 1x19 [18].

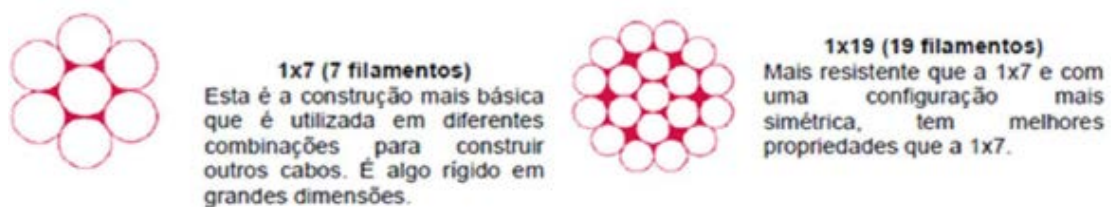


Figura 11 - Secções de cordas

Um cabo é constituído por três ou mais cordas unidas. Na Figura 12, pode-se verificar alguns exemplos de denominações de cabo. A denominação, neste caso, é dada pelo número de cordas utilizadas na conceção do cabo, relativamente ao número de filamentos que envolvem o núcleo.

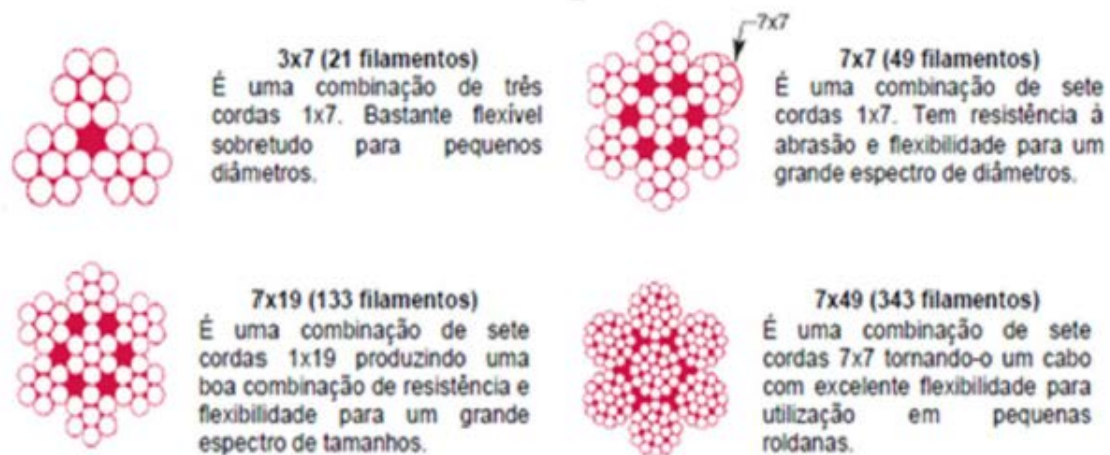


Figura 12 - Secção de cabos

Quanto maior for o número de filamentos, maior será o alongamento sofrido pelos cabos quando sujeitos à tração. Pode-se verificar este efeito na Figura 13. Em sentido inverso, quanto menor for o número de filamentos, maior será a força de tração que o cabo suporta.

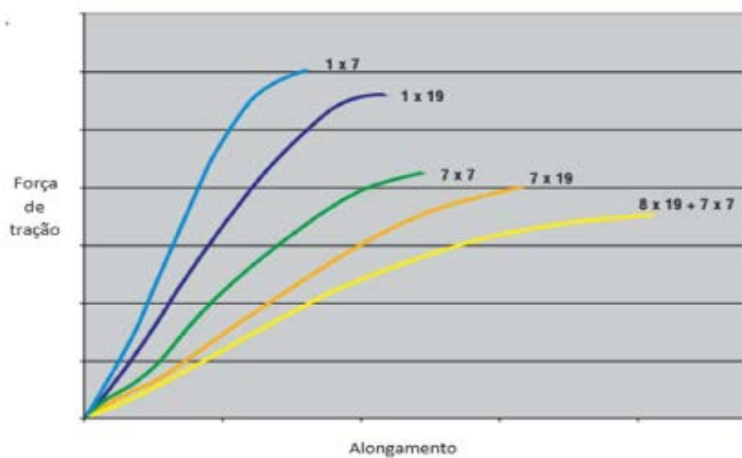


Figura 13 - Comportamento alongamento Vs. Força de tração

Um cabo pode sofrer dois tipos de alongamento: elástico e/ou estrutural:

- Alongamento elástico: é o alongamento sofrido nos filamentos da corda ou do cabo. Este acontece pela aplicação de uma carga de valor inferior à tensão limite elástico do metal. Neste caso, o alongamento é proporcional à carga aplicada. Quando a carga deixa de ser aplicada, o cabo ou corda volta ao seu comprimento inicial.
- Alongamento estrutural: Quando uma corda ou cabo está a ser construído existe uma carga relativamente baixa na extremidade, existindo assim folgas entre filamentos e o núcleo do cabo ou da corda. Quando é aplicada a primeira carga, existe uma acomodação dos filamentos ao núcleo e, conseqüentemente, um ligeiro aumento do comprimento total. Esse aumento será tanto maior, quanto maior for o comprimento do cabo. O cálculo deste aumento é extremamente complexo, pois envolve várias variáveis.

Atualmente, após a construção do cabo é efetuado um ensaio de tração, de forma a tentar minimizar os efeitos do alongamento estrutural [5].

2.3.5 Componentes dos cabos de comando

A peça mais importante de um cabo de comando é o próprio cabo, embora este seja constituído por outros componentes [24]. Os restantes componentes que formam o cabo de comando podem variar muito, e dependem fundamentalmente da função para que se irá destinar o cabo de comando [25]. Na Tabela 3 são apresentadas algumas especificidades utilizadas atualmente.

Tabela 3 - Acessórios de um cabo de comando [25]

Componente	Imagem	Especificidade	Função
Espiral		Espiral laminada	A função é proteger o cabo durante a sua movimentação
		Espiral armada	
		Espiral do tipo <i>braided</i>	
Terminais espiral		Terminal fixo à espiral por punção	Estes têm a função de prender o cabo a um dado mecanismo
		Terminal sobreinjetado na espiral	
<i>Grommet</i> ou borracha de fixação			A função <i>grommet</i> é impedir a passagem de humidade e resíduos da zona húmida para a zona seca
Tubo exterior		Tubo estrela é utilizado quando o ruído é provocado por impacto	Estes têm a função de evitar ruídos por possíveis vibrações
		Tubo de borracha utilizado para proteger o cabo de possível humidade	
		Utilizado quando existe ruído provocado por fricção	
Tubo interior			Evita a fricção do

	cabo metálico com a espiral
Guarda pó	Permite que não entrem resíduos no interior da espiral do cabo metálico
<i>Clips</i>	Peças que permitem que o cabo fique fixo em alguns pontos ao longo do seu “caminho”.
Terminais de cabo metálico	Tem a função de fixar os cabos nos sistemas atuadores

Os sistemas referidos nesta tabela são apenas alguns dos existentes atualmente no mercado, pois cada um destes sistemas pode sofrer alterações para ser adaptado ao produto final.

2.3.6 Processos associados ao fabrico

Os processos envolvidos na produção de um cabo de comando estão descritos na Figura 14.

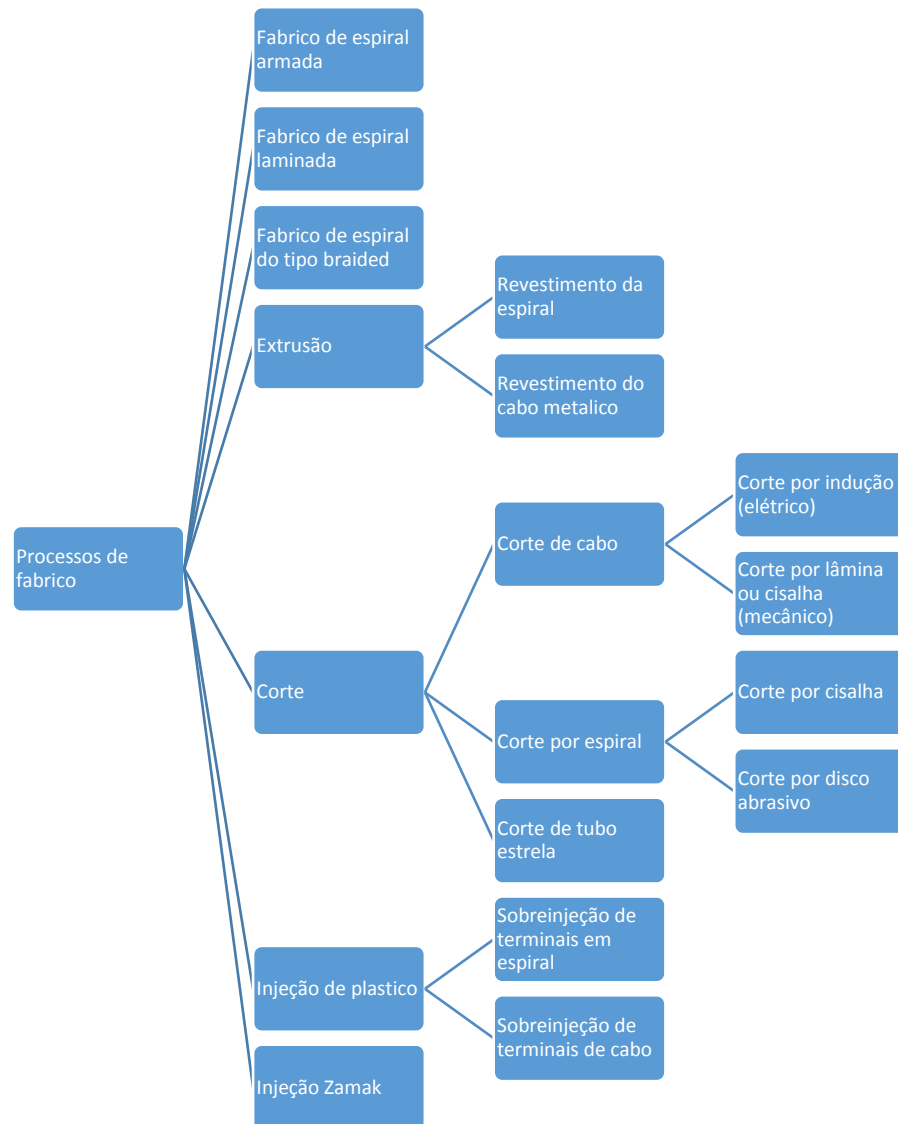


Figura 14 - Processos inerentes ao fabrico de cabos de comando [25]

O presente projeto irá incidir sobretudo em máquinas de injeção de terminais de cabo metálico com Zamak. Neste caso, o cabo é cortado por corte mecânico ou elétrico, efetuada uma flor, injetada uma liga Zamak e, por fim, é efetuado o corte dos gitos, como referido anteriormente [25].

Na Tabela 4 estão descritos outros possíveis processos de fabrico para cabos de comando.

Tabela 4 - Possíveis processos de fabrico para um cabo de comando [25]

Processo	Descrição do processo	Especificidades
Fabrico de espiral laminada	Laminagem a frio e enrolamento do arame em espiral.	A espiral laminada pode ou não conter tubo interior.
Fabrico de espiral armada	Arames são encaminhados por guias de forma a convergir numa fieira, onde é efetuado o processo de enrolamento dos arames.	A espiral armada contém sempre tubo interior.
Fabrico de espiral <i>braided</i>	Os dois tambores movimentam-se em sentido opostos, fazendo com que os arames provenientes das bobines enrolem sobre o tubo interior.	A espiral tipo <i>braided</i> contém sempre tubo interior, para fazer a sua proteção, como já referido anteriormente.
Revestimento por extrusão de espiral, cabo metálico e arames	O material em granulado alimenta a extrusora. No interior da extrusora existe um parafuso sem-fim que faz avançar o material até à fieira. O longo do seu caminho no parafuso sem-fim, através de aquecedores. Após a saída da fieira, o material é mergulhado numa tina para arrefecer, e a secagem é garantida pelo sopro existente no final.	Para além do revestimento de espiral, cabo metálico e arames, o processo de extrusão também é utilizado no fabrico de tubo exterior e interior.
Corte de cabo metálico	O cabo é dispensado da bobina de uma forma	O corte mecânico tende a desentrançar o cabo. O

	<p>controlada por um compensador que mantém a tensão constante. Para evitar deformações, o cabo é guiado até ao dispositivo de corte por rolos de tracionamento.</p>	<p>um corte elétrico permite que o cabo fique soldado, pois este funde os filamentos do cabo. Assim, a maioria dos cabos são cortados pelo método do corte elétrico.</p>
Corte de espiral	<p>Por vezes, é utilizado líquido para evitar o aquecimento excessivo durante o corte.</p> <p>No corte da espiral para sobreinjectar, é criada rugosidade na extremidade da espiral, por um conjunto de maxilas aquecidas por uma resistência. A finalidade desta rugosidade é garantir a resistência à tração imposta pelo cliente.</p>	<p>A espiral laminada é sempre cortada por disco abrasivo. A espiral armada e tipo <i>braided</i>, pode ser cortada por este processo, embora mais dispendioso que o corte por lâmina.</p> <p>Este corte pode criar rebarbas, levando assim a processos para remover essas mesmas rebarbas.</p>
Corte de tubo estrela	<p>O tubo exterior é dispensado num contentor, puxado através de rolos e obrigado a passar num compensador para lhe retirar tensões.</p> <p>O corte é efetuado por lâmina, com o comprimento pretendido.</p>	<p>Preferencialmente, após o corte, o comprimento do tubo deve ser avaliado e montado na espiral, uma vez que o método de montagem do tubo interfere com o comprimento final.</p>
Injeção de terminais de cabo metálico com Zamak	<p>O cabo é aparado por um corte mecânico, efetuada a flor, injeção de Zamak e, por fim, a remoção de gito.</p>	<p>O cabo que anteriormente foi cortado por um corte elétrico necessita ser aparado mecanicamente, para remover a extremidade que</p>

apresenta dureza elevada e dificulta a realização da flor, e também remover a película de óxidos resultante do corte elétrico. Para garantir a resistência à tração, é necessário fazer uma deformação na extremidade do cabo, designada flor, o que vai proporcionar um aumento da área de contacto entre o cabo e o terminal em Zamak.

Sobreinjeção plástica

As máquinas aquecem o polímero à temperatura ideal, para que este funda e adquira a viscosidade adequada para fluir e preencher todos os canais do molde. A pressão exercida pela máquina é de vital importância neste processo. Só após o adequado arrefecimento, a peça deve ser retirada do molde, para não sofrer deformações.

Na injeção de terminais coloridos, é muito importante a espiral ser fornecida sem rebarbas.

Para garantir o esforço especificado, é necessário que as marcas dos mordentes estejam efetuadas em conformidade com o definido.

2.4 Automação ligada a processos industriais

A automação tem sido um dos sectores que mais alterações positivas tem sofrido nos últimos anos. *“Se nos anos 60 a característica central seria um sistema de trabalho repetitivo, de montagem realizada em grandes séries, com sistemas automatizados dedicados, a partir dos anos 70 assistimos a uma progressiva introdução da automatização flexível para responder a uma maior diversificação da procura e de segmentação de mercados”* [26].

Atualmente, o mercado pede cada vez mais uma maior eficiência de produção, recorrendo ao menor número de recursos possível. A automação apresenta a resposta a estas exigências, tornando-se assim num motor fundamental da indústria atual [27].

“Um desafio que é recorrente nos fabricantes de produtos, é a migração de um sistema manual para um sistema de produção automatizado, sempre com o objetivo de reduzir custos de produção, aumentar a sua produtividade (por exemplo: redução do tempo de produção), indo ao encontro dos níveis de qualidade exigidos pelo cliente. Com esta estratégia, os fabricantes mantêm-se flexíveis e competitivos, de acordo com as variações do mercado. A necessidade de automatização nem sempre aparece ligada a fatores de competitividade: por vezes é necessário evitar o uso de mão-de-obra em tarefas perigosas, que colocam em risco a integridade física ou psicológica dos trabalhadores” [26, 27].

Assim, a automatização está presente de forma mais ou menos acentuada em todas as indústrias, o que leva naturalmente a um contributo para o desenvolvimento das mesmas. A automatização tem evoluído de forma exponencial ao longo dos anos, permitindo assim o aumento de produtividade e flexibilidade dos diversos ramos da indústria [28-30].

Os principais fatores para o desenvolvimento da automatização são:

1. Reduzir os custos de manutenção - A automatização tem a capacidade de reduzir os elevados custos de mão-de-obra, reduzindo assim também o custo final do produto;
2. Aumento da produtividade - A automatização permite um aumento das taxas de produção de um componente ou equipamento. Isto significa um maior número de produtos por unidade de tempo, quando comparado com o mesmo processo efetuado de forma manual;
3. Redução dos prazos de entrega - Devido ao aumento de produtividade referido anteriormente, os prazos de entrega também serão menores;
4. Capacidade de execução de tarefas que não devem ser efetuadas manualmente – Alguns produtos, devido ao seu tamanho (normalmente

- demasiado grande ou pesado) ou devido às restrições dimensionais, deverão ser trabalhados de forma automatizada ou semi-automatizada;
5. Reduzir ou eliminar completamente as rotinas manuais - De forma a melhorar as condições de trabalho numa empresa, devemos eliminar rotinas e tarefas monótonas por parte dos colaboradores. A automatização permite que este tipo de trabalhos seja efetuado de forma automática;
 6. Aumento da qualidade do produto - Com os sistemas automatizados, não existem “desvios” nos processos de produção. É possível garantir que o produto tenha uma qualidade constante;
 7. Aumento dos lucros - Pelos fatores enumerados anteriormente, verificamos que facilmente existirá uma satisfação do cliente final, tanto pelo aumento de qualidade, como pela rápida resposta, ou ainda pelo reconhecimento das boas condições de trabalho que a empresa proporciona aos seus colaboradores. Isto leva facilmente a um aumento das vendas dessa empresa.

Pontos que devem ser tomados em consideração antes de iniciar o processo de automatização:

1. Avarias das máquinas, cujo custo pode ser bastante elevado;
2. Necessidade de contratação de trabalhadores com mais formação, o que implica um investimento por parte da empresa;
3. Elevado investimento inicial;
4. Necessidade de dar formação contínua a operadores, o que leva a um aumento dos custos.

Seria de todo errado pensar que a automatização substitui um colaborador de uma empresa, ou que reduz o número de postos de trabalho de uma empresa. Esta linha de pensamento, muitas vezes adotada, não vai de encontro ao que a automatização representa [31]. A automação permite, assim, que os colaboradores monitorizem uma linha de montagem ou resolvam problemas existentes na mesma [32]. Permite, também, que esses colaboradores tenham um maior conhecimento do produto e uma maior formação na área de trabalho, levando (como anteriormente referido) à eliminação de trabalhos repetitivos e monótonos [33, 34].

A automação pode ser dividida em quatro grandes sistemas [28]:

1. Sistemas de apoio à produção manual;
2. Sistemas semiautomáticos;
3. Sistemas automáticos;
4. Sistema robotizados.

2.4.1 Sistema de apoio à produção manual

Naturalmente, a mão-de-obra será sempre necessária para conceber um produto. Contudo, os sistemas automáticos tendem a que as funções desempenhadas anteriormente por colaboradores, passem agora a ser desempenhadas por esses sistemas. Os colaboradores são agora necessários para desenvolver funções de manutenção dos equipamentos de produção, responsáveis pela produção, ou organizadores da produção, passando assim as tarefas repetitivas e monótonas para os sistemas automatizados [26] [28].

Apesar de todos os pontos fortes listados no capítulo 2.4, a automação não substitui, de todo, a mão-de-obra [35]. Assim, esta continua a ter os seus pontos fortes e, em muitos casos, não se justifica criar processos de automação para o trabalho em causa. Então, podemos enumerar alguns casos onde a mão-de-obra será sempre necessária [28, 36]:

- Tarefas que são tecnicamente difíceis de automatizar - Em alguns casos as tarefas que se pretende automatizar não são de fácil implementação, o que levaria a um investimento demasiado elevado, como por exemplo, em produtos com vários modelos, ou em operações como o acabamento final. Nestes casos, os cinco sentidos do ser humano permitem que este tenha uma capacidade sensorial e de análise superior a qualquer equipamento industrial;
- Curto ciclo de vida do produto - Quando é necessário produzir um produto em pequenas séries ou quantidades, o investimento inicial para a automação desse produto não se justifica. Assim, o uso de sistemas não automatizados é justificado pelo número de unidades que são necessárias produzir;
- Variações na procura de um produto - Existem produtos que apresentam uma grande flutuação na sua procura. Se existe um período temporal onde existe uma forte procura, em outras alturas essa procura é quase inexistente. Nestes casos, a produção manual tem uma forte vantagem sobre a automatizada, pois a manual não apresenta custos fixos. O sistema automatizado tem um investimento associado. É desejado que estes sistemas estejam a produzir, por norma, na sua capacidade máxima, para que não se verifiquem produtos finais demasiado caros e que o investimento seja facilmente justificado;
- Produtos personalizados - Quando é necessário fazer apenas uma unidade de um produto, a produção manual é mais vantajosa em todos os sentidos, pois é sempre mais flexível que um sistema automatizado;

- Redução e risco de falha do produto - A automatização de um produto representa muitas vezes um grande risco para a empresa, pois geralmente esse investimento é muito elevado. Caso seja feito o investimento e o produto não seja comercializado da forma esperada, isso poderá levar a um “desastre” económico. Assim, numa fase embrionária do produto, a produção deve ser feita de forma manual pois, caso este produto falhe, os custos dessa falha serão minimizados.

2.4.2 Sistemas semiautomáticos

Nestes sistemas, podemos dizer que parte das funções são realizadas por ação manual, e outra parte por funções automatizadas. O grau de automatização de um equipamento é analisado pelo número de processos que são executados de forma automática. Enquanto num sistema completamente automatizado, todas as ações são executadas pelo equipamento, no caso do sistema semiautomático o equipamento precisa de um suporte manual para executar as tarefas necessárias [28, 37].

Exemplo disso é um equipamento CNC (comando numérico computadorizado) de produção semiautomática, em que, apesar das tarefas de corte serem realizadas de forma automática por um programa previamente feito, a alimentação da máquina e a montagem das ferramentas necessárias terão de ser realizadas por um operador especializado [38, 39]. Na Figura 15 pode-se ver um exemplo desse tipo de sistema.



Figura 15 - Exemplo de um sistema semiautomático [40]

2.4.3 Sistemas automáticos

Os sistemas automáticos são aqueles que necessitam de um maior investimento, contudo são aqueles que requerem menos suporte manual. São geralmente os preferidos por parte das empresas pois, apesar do investimento inicial ser elevado, são aqueles que mais rapidamente amortizam o investimento [41]. Este tipo de sistemas implica uma enorme colaboração entre vários departamentos, desde a parte mecânica à parte de eletrónica, passando pelos sistemas informáticos, que controlam os processos de forma automática [42]. Os sistemas só podem ser chamados de automáticos quando a intervenção de mão-de-obra é nula ou muito reduzida [43]. Num sistema automático, toda a parte de processamento do produto, manipulação, montagem, acabamentos, análises e calibrações necessárias, deverão ser efetuados de forma autónoma [26, 28].

Os sistemas automáticos podem ser de três tipos: automação fixa, programável e flexível [44].

Na Figura 16 pode-se verificar qual o tipo de automação que devemos selecionar, dependendo da variedade de produtos e quantidade que será necessário produzir.

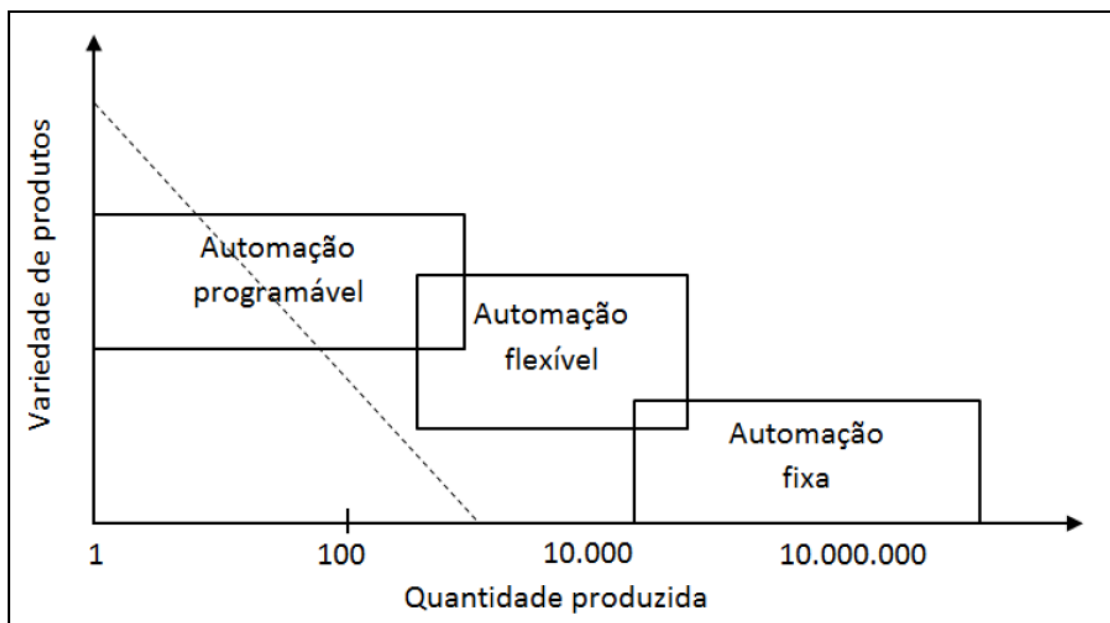


Figura 16 - Tipos de programação adaptado [28, 45]

Irá agora ser explicado em que consiste cada umas das automações e de que forma é que estas podem ajudar na otimização das empresas [46].

Fixa: Este tipo de automação é utilizado quando o número de peças a produzir é extremamente elevado e estas peças são sempre iguais. Normalmente, estes sistemas

não são muito complexos. São utilizados em ações rápidas, que permitem uma elevadíssima cadência de produtos. As principais características deste tipo de produto são: alto investimento inicial, taxas de produção elevadas e flexibilidade reduzida no produto final.

Este tipo de automação só é justificado quando existe a necessidade de produção de elevadas quantidades de um produto, e sabemos que este não irá ser alterado durante algum tempo. Existem vários exemplos deste tipo de produtos dentro da indústria alimentar, assim como latas de bebidas ou pacotes de leite.

Programável: É, em certa medida, o oposto da automação fixa. Neste caso, é possível alterar a sequência de operações, permitindo assim criar diferentes configurações do produto final. O equipamento faz a leitura de um programa, no qual está definida uma série de instruções que podem ser alteradas sempre que é desejável.

As características deste tipo de sistema são:

- Elevado investimento inicial no equipamento;
- Por norma taxas de produção inferiores, quando comparadas com a taxas de produção efetuadas pela automação fixa;
- Flexibilidade e capacidade de lidar com possíveis alterações nos produtos.

Este tipo de automação é utilizado quando existem produções com volumes de produção médios ou baixos. É também utilizado para quantidades pré-definidas e exclusivas de produtos. Como exemplos deste tipo de equipamentos, temos as máquinas de comando numérico, braços mecânicos ou controladores lógicos [29].

Flexível: Podemos dizer que este tipo de programação é um pouco a junção da automação fixa e da automação programável. Este tipo de sistema tem a capacidade de eliminação dos tempos de *setup*. Este tipo de automação consiste na eliminação das perdas de tempo entre a realização de produtos diferentes. Este tipo de equipamento tem a capacidade de produzir diferentes tipos de produtos, sem que seja necessária a alteração de toda a automação já criada anteriormente [47].

Um bom exemplo para este tipo de automatização são as máquinas de corte laser, com alimentação automática de chapa. Podemos estar a produzir cem unidades de uma dada chapa, com uma série de cortes necessários para a realização das peças. Após essas cem chapas, podemos facilmente cortar uma chapa de outro material com outra espessura, e com cortes totalmente diferentes, e até as dimensões da chapa

podem ser diferentes. Apesar de todas as alterações, a máquina de corte não parou, continuando a ser alimentada e a cortar sem qualquer tipo de paragem [28, 48].

Este tipo de automação tem como características:

- Elevado investimento inicial;
- Produção contínua de diferentes produtos;
- Taxas de produção médias;
- Flexibilidade para lidar com variações no desenho do produto.

Como exemplo deste tipo de equipamento, e como já referido anteriormente, temos os equipamentos de corte com alimentação automática e equipamentos de maquinagem, também com alimentação automática, como se pode ver na Figura 17.



Figura 17 - Equipamento flexível [49]

2.4.4 Sistemas robotizados

Um sistema robotizado é um sistema articulado, que consegue ser reprogramável e obter, de forma autónoma, informação do meio envolvente. Para isso, está equipado com sensores e dispositivos, tomando decisões sobre o que deve fazer perante o meio que o envolve. De forma resumida, um *robot* consegue tomar decisões previamente programadas, dependendo dos diferentes meios [50]. Na Figura 18, pode-se ver o exemplo de um sistema desse tipo.

Podemos dizer que um *robot* é uma máquina antropomórfica. Um *robot* pode ser um equipamento que leva peças a uma linha de montagem, reconhecendo quais os equipamentos que está a carregar e levando-os para a posição correta. Representam o desenvolvimento natural dos sistemas de controlo numérico computadorizados [28, 51].

Um *robot* não está desenhado para uma única função. Pode realizar um amplo número de tarefas diferentes, distinguindo-se assim de outros equipamentos [52, 53]. Por exemplo, nos *robots* que levam o equipamento às linhas de montagem, estes tem a capacidade de os colocar na posição certa (dependendo do tipo de produto que carregam) e têm também a capacidade de os ir buscar à posição onde estes devem estar [54, 55].

Existem várias aplicações para os *robots*, nomeadamente:

- Ciclo de trabalhos repetitivos - Quando os ciclos são repetitivos, um *robot* é mais consistente e repetitivo nos movimentos do que um colaborador, levando a uma maior qualidade no produto;
- Trabalho em ambientes perigosos - Quando o trabalho tem de ser efetuado em condições perigosas ou num ambiente inseguro, existe necessidade de fazer esse investimento (por exemplo, pintura contínua de milhares de componentes);
- Manipulação de componentes - Quando temos componentes demasiados pesados para serem manuseados de forma manual, é frequente que os *robots* efetuem esses trabalhos de forma mais cómoda e segura;
- Mudanças frequentes - Quando existe uma grande variedade de produção de equipamentos numa fábrica, o uso de *robots* torna-se benéfico, pois não existe o tempo de *setup* para iniciar a produção de um equipamento diferente;
- Operações contínuas - Quando é necessário que um produto seja produzido de forma contínua (24 horas por dia), o uso de *robots* permite que a produção não pare, mantendo os custos constantes (no trabalho manual, os trabalhos noturnos têm um custo mais elevado).



Figura 18 - Sistema Robótico [56]

DESENVOLVIMENTO

3.1 Empresa de acolhimento

3.2 Objetivos do trabalho prático

3.3 Descrição da situação inicial

3.4 *Brainstorming*

3.5 Análise SWOT das ideias

3.6 Anteprojeto da ideia selecionada

3.7 Projeto mecânico e dimensionamento

3.8 Projeto de automação

3.9 Lista de peças, componentes e orçamentação

3.10 Instruções de montagem

3.11 Manual de manutenção

3.12 Análise FMEA

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Empresa de acolhimento

A empresa de acolhimento foi a PR-Metal, Lda. Esta teve origem na empresa Molcotex – Indústria de moldes e cortantes, Lda., fundada em 1985. Em 2010, existiu uma mudança na gestão da empresa, o que levou a uma reestruturação da mesma, conduzindo esta a colocar o seu foco na produção de equipamentos. Assim, começaram a ser produzidos equipamentos para a sobreinjeção de Zamak em cabos de aço e cabos de comando para a indústria automóvel.

A empresa PR-Metal está inserida no grupo PR, que é constituído por cinco empresas, sendo elas:

- Tornipeças: dedicada à área da tornearia, focada nos sectores automóvel, automação industrial, indústria alimentar, entre outras;
- Croporto: Empresa dedicada à área da galvanização de metais;
- PR-Plástico: empresa dedicada ao fabrico de tubos em PE, PP e EPE para a indústria automóvel;
- PR-Injeção: Empresa de injeção de peças em Zamak até 500 g;
- PR-Metal: empresa dedicada à área de equipamentos de injeção de Zamak.

3.2 Objetivos do trabalho prático

Este trabalho tem como principal objetivo o projeto e dimensionamento de dois sistemas que permitam uma maior autonomia de uma máquina de injeção de Zamak.

Serão assim estudados e desenvolvidos dois sistemas. O primeiro irá permitir que durante o funcionamento da máquina, esta opere de forma autónoma, independentemente do comprimento dos cabos a serem injetados, pois garante que estes caiam de forma correta na zona de recolha. Atualmente os cabos caem de forma aleatória na zona de recolha, criando um emaranhado de cabos. Este sistema irá permitir eliminar este problema. O segundo sistema, irá permitir uma separação dos cabos que foram injetados corretamente, daqueles que contêm defeitos. Estes dois sistemas irão levar a uma maior autonomia da máquina, permitindo assim que seja necessário apenas um único operador. Este terá a função de recolher os cabos que foram injetados.

Para o primeiro caso, será desenvolvido um sistema de *pick-and-place*, mas com a função adicional de que, independentemente do comprimento do cabo, este ficará sempre esticado na zona de recolha da máquina.

No segundo caso, será utilizada uma plataforma que, dependendo de o cabo estar bem ou mal injetado, inclinará para um lado ou para o outro, permitindo assim uma separação dos cabos.

Outro dos pontos que é necessário ter em conta durante todo o projeto, é o custo que se pretende despende nestes melhoramentos, pois o objetivo é que estes sistemas sejam utilizados em todas as máquinas que são produzidas. Deve-se também procurar obter um sistema simples, mas que cumpra a sua função com a fiabilidade pretendida.

3.3 Descrição da situação inicial

3.3.1 Sistema de guiamento

Como em todos os equipamentos industriais atuais, procura-se cada vez mais uma maior autonomia das máquinas. Assim, a PR Metal procura equipar a sua máquina de forma a torná-la mais autónoma, para a poder responder às solicitações que os seus clientes pretendem.

Foi verificado que neste equipamento, durante a injeção de Zamak em pontas de cabos com comprimentos superiores a 500 mm, estes caíam de forma descontrolada na zona de recolha. Esta situação levaria à criação de um emaranhado de cabos na zona de recolha, o que levaria à necessidade do operador controlar o processo de produção constantemente.

Atualmente, após o cabo passar pelas três fases de injeção (criação da flor, injeção de Zamak e corte de jitos), este é guiado por um sistema de três cilindros, que descreve um movimento em “S”, e larga o cabo de forma descontrolada na zona de recolha. Este sistema, apesar de ser extremamente útil em cabos de pequena dimensão (comprimentos inferiores a 300 mm), não se afigura tão útil para cabos com um comprimento mais elevado. No caso dos cabos mais pequenos, o sistema existente permite que estes caiam de forma ordenada na zona de recolha.

Quando os cabos começam a ter comprimentos superiores, verificam-se as seguintes situações:

- Queda de cabos de forma desordenada;
- Criação de um emaranhado de cabos;
- Necessidade de vigilância contínua do processo de produção;
- Eventual necessidade de paragem no processo, de forma a alinhar/recolher os cabos.

As vantagens da utilização da agarra na zona frontal do sistema são as seguintes:

- Cabos com dimensão inferior 300 mm caem de forma ordenada;
- Permite retirar o cabo da zona de corte de gito automaticamente;
- Garante que o cabo irá cair na zona de recolha;
- Máquina funciona de forma autónoma com cabos com comprimento inferior a 300 mm.

No caso da produção de cabos com comprimento superior a 300 mm, eram utilizadas ventosas na zona de recolha, na tentativa de ordenar a queda de cabos. Na Figura 19 pode-se verificar a presença dessas ventosas.

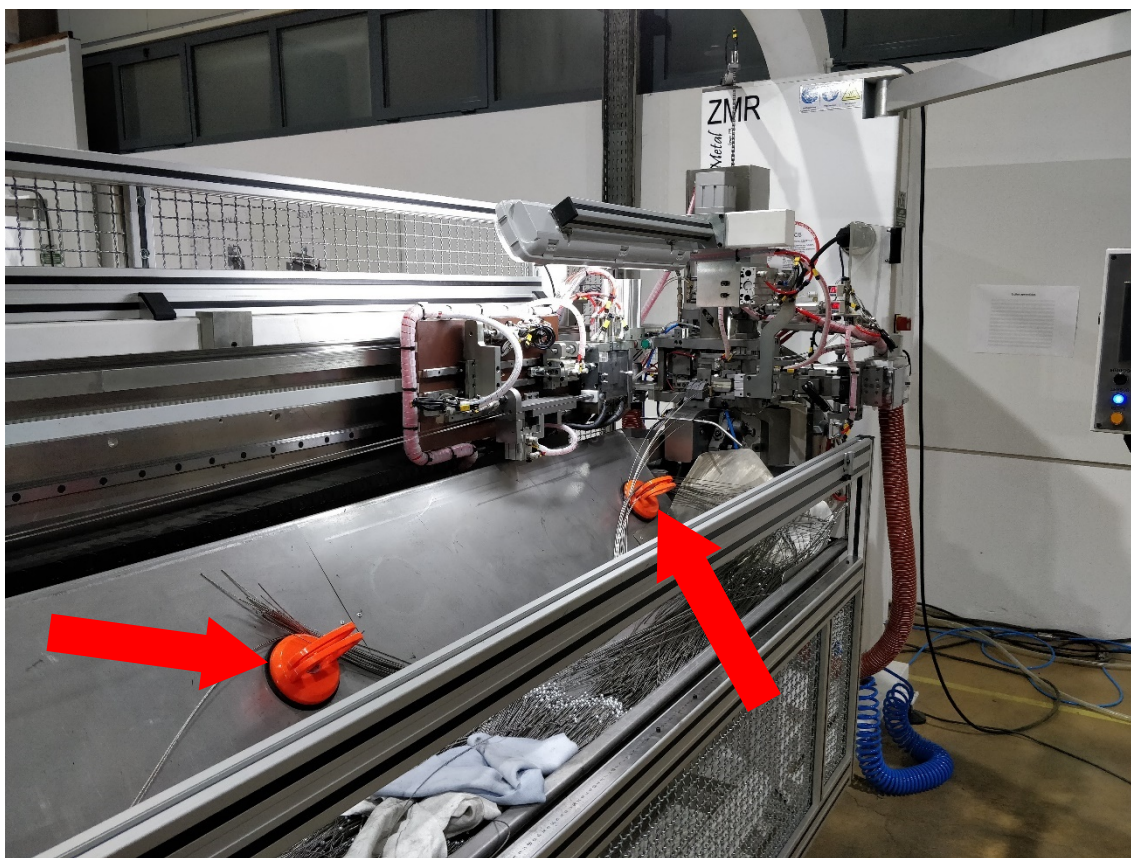


Figura 19 - Ventosas utilizadas para controlar a queda de cabos

Estas ventosas são colocadas na zona de recolha, de forma a controlar a queda dos cabos, permitindo uma maior autonomia da máquina. Contudo, este sistema não é de todo o mais indicado, pois não existe um procedimento a seguir para a colocação dessas ventosas. Portanto, o seu correto posicionamento depende da experiência do operador e do comprimento do cabo injetado, o que torna este procedimento variável. É também importante referir que a colocação das ventosas na zona de recolha é feita de forma manual.

3.3.2 Sistema de seleção de cabos

Apesar da maioria dos cabos que são injetados serem produzidos de forma correta, por vezes existem falhas que não permitem que o processo de injeção de Zamak ocorra da forma pretendida. Foi identificada a necessidade de a máquina ter a capacidade de separar os cabos produzidos de forma correta dos restantes. É neste processo que se enquadra o sistema de seleção de cabos.

Inicialmente, não existia qualquer tipo de sistema que pudesse fazer a seleção de cabos. Os cabos caíam todos na mesma zona de recolha, e depois o operador iria manualmente separar os cabos conformes, dos não conformes.

Neste caso, quando se fala em cabos não conformes, refere-se a cabos cuja injeção não foi efetuada, ou foi efetuada de forma incorreta.

Este sistema de seleção irá permitir que, de uma forma rápida e cómoda, o operador verifique se os cabos estão conformes ou não.

3.4 *Brainstorming*

Para a resolução do problema descrito, surgiram três ideias, todas elas possíveis de ser implementadas.

3.4.1 Sistema de guiamento independente

A primeira ideia prende-se com a criação de um sistema totalmente independente, que agarra o cabo, estica-o e larga-o na zona de recolha. Este equipamento seria constituído por duas pinças, uma que seguraria o cabo na ponta onde foi fundido Zamak (equipamento já existente) e a outra pinça teria a função de agarrar o cabo na mesma zona e percorrer o cabo todo, de forma a mantê-lo esticado.

Na Figura 20 pode-se um esboço que foi utilizado para compreender como seria este equipamento.

Durante a análise desta solução, foi verificado que os custos deste equipamento seriam elevados pois, para além de ser necessária a criação de suportes ao longo da máquina para suportar este sistema, seria necessário adquirir um motor com um *encoder* (ou outra solução idêntica), para a pinça que iria percorrer o cabo.

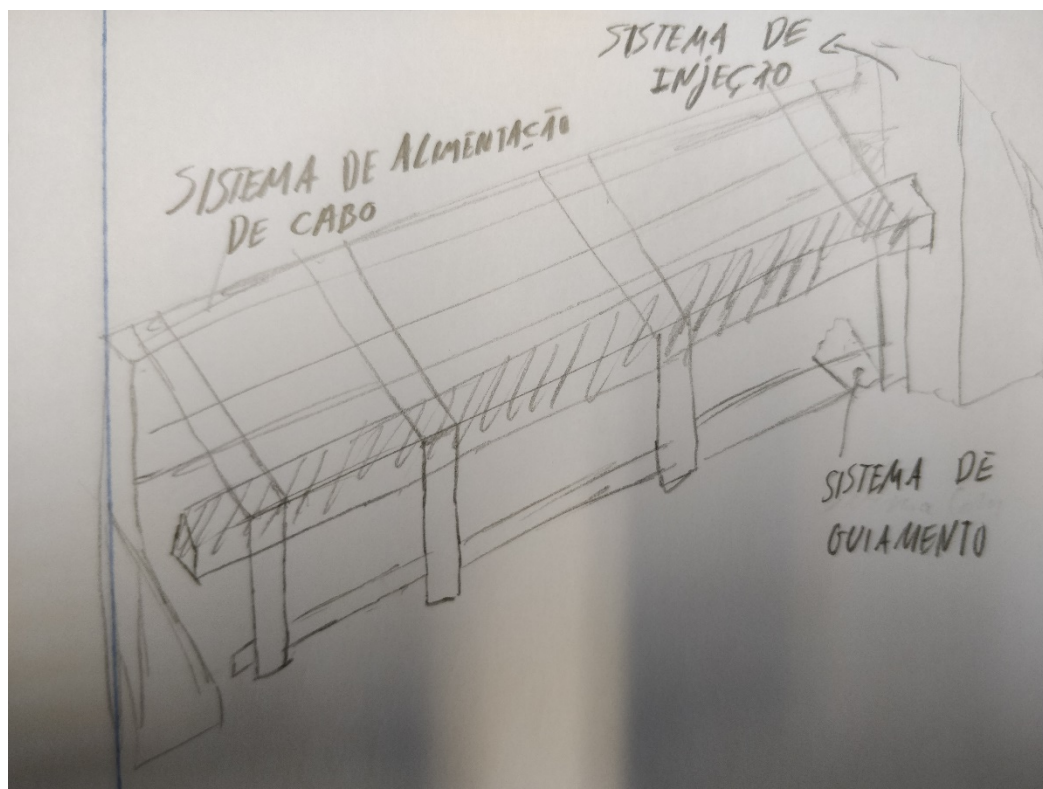


Figura 20 - Esboço do sistema de guiamento independente

O sistema descrito, apresenta as seguintes vantagens:

- Automatismo independente;
- O tempo de ciclo de produção não é afetado;
- Capacidade de se adaptar a qualquer comprimento de cabo;

As desvantagens deste sistema são:

- Sistema complexo;
- Sistema com elevados custos devido ao número de componentes;
- Necessidade de manutenção periódica;
- Eventuais alterações à estrutura da máquina, o que levaria a um trabalho de elevada complexidade.

3.4.2 Sistema de tapete de guiamento

Outro sistema que foi estudado, foi a utilização de um tapete de guiamento. Neste sistema, acrescentar-se-ia um tapete com aberturas para receber os cabos. Este tapete, seria colocado na zona inferior do equipamento (ao lado da zona de recolha dos cabos). Após ser efetuada a flor no cabo, este cairia num rasgo do tapete e o

tapete iria rodar continuamente até a fase final onde iria depositar o cabo na zona de recolha. Importante referir que o tapete teria de parar de rodar sempre que o cabo estivesse numa das 3 fases de injeção (criação de flor, injeção de Zamak, corte de jitos).

Este sistema, apesar de simples, envolve grandes custos, pela necessidade de ser produzido um tapete com as características necessárias para esta função. O trabalho de automação necessário para este sistema seria também elevado, para poder respeitar os “*timings*” das três etapas da injeção de Zamak. Para cumprir esses “*timings*”, provavelmente seria necessário recorrer a um servomotor. Este sistema apresenta também a desvantagem de estar na zona inferior do equipamento, o que implica que poderá receber resíduos provenientes do sistema de corte. Caso fosse adotado este sistema, seria necessário também o estudo de um sistema de limpeza autónomo para o tapete de guiamento.

No entanto, este sistema também apresenta algumas vantagens:

- Sistema robusto;
- Adaptável a qualquer comprimento de cabo;
- Pouca manutenção (caso tivesse o sistema autónomo de limpeza);
- Aspeto visual;
- Entrega dos cabos perfeitamente alinhados no final.

3.4.3 Sistema de guiamento com apoio do sistema de alimentação

Durante o estudo das possíveis soluções para o problema do guiamento de cabos, foi verificado que o sistema de alimentação da máquina poderia fazer o guiamento pretendido.

Foi verificado que o sistema de alimentação, caso este fosse equipado com alguns componentes, poderia ir de encontro à função pretendida. Desta forma, este seria um sistema simples e que provavelmente iria envolver poucos componentes, o que conduz a um baixo custo para o equipamento. Foi então analisada uma forma de poder utilizar o sistema de alimentação para suportar o sistema de guiamento.

As características presentes no sistema de alimentação que permitem suportar o sistema de guiamento são as seguintes:

- O facto de percorrer todo o cabo possibilitando o seu guiamento;
- Guiamento segundo os eixos pretendidos;
- Espaço disponível para equipar os componentes do sistema de guiamento;
- Sistema de movimentação rápida;
- Acompanha o tempo de ciclo.

Este sistema também é aquele que provavelmente iria implicar menos alterações na máquina atual. Os pontos que seriam necessários alterar seriam:

- Alteração da zona de recolha de cabos;
- Alteração do sistema atual de guiamento de cabos na zona de recolha;
- Alteração da programação do equipamento;
- Alteração de alguns componentes, de forma a poder suportar o equipamento.

Outra vantagem da utilização deste sistema reside na possibilidade do mesmo ser aplicado em equipamentos que já tenham sido comercializados. Por exemplo, no caso de uma máquina que já esteja em funcionamento num cliente, caso este queira optar pela inclusão deste sistema, é possível fazer essa melhoria.

3.4.4 Sistema de seleção de cabos

No que toca ao sistema de seleção de cabos, a ideia sempre esteve bem definida. Seria um sistema simples, em que o cabo quando fosse solto seguiria um caminho, ou outro. A ideia inicial seria ter uma chapa que iria inclinar para o lado “A” ou para o lado “B”, conforme o cabo estivesse conforme ou não conforme. Na Figura 21 pode-se verificar um primeiro esboço do desenho que se pretendia fazer, e que foi posteriormente utilizado.

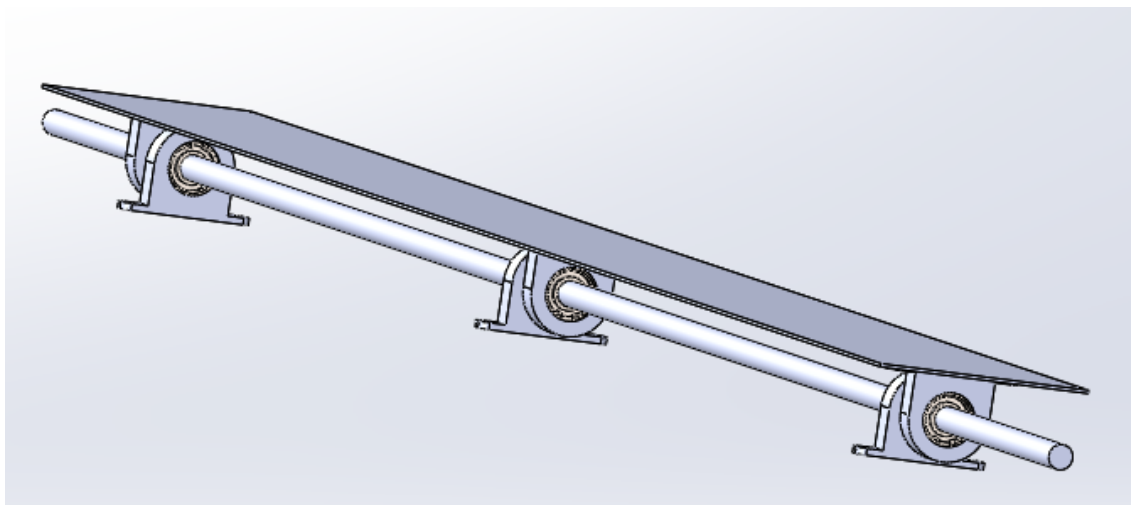


Figura 21 - Primeiro esboço do sistema de guiamento

Essa chapa teria um eixo na zona inferior e a ligação entre a chapa e o eixo seria feita de alguma forma, que ainda não estava definida. O movimento de rotação teria de ser feito por ação de um atuador pneumático.

Outro ponto que foi discutido foi o facto deste sistema ser colocado na zona de recolha de cabos. Pelo facto referido, este sistema teria de ser elevado, de forma a separar os cabos, e esses iriam ser separados pelos pilares que suportam a estrutura.

Esses pilares estão representados na Figura 22.

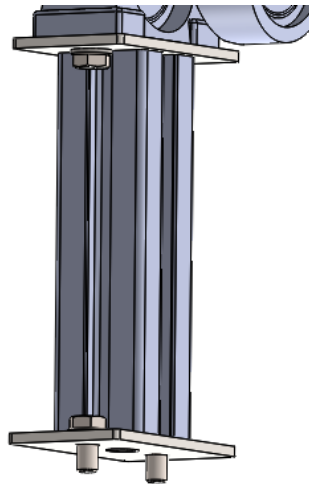


Figura 22 - Suportes para elevar o sistema de guiamento

3.5 Análise SWOT das ideias

Na Tabela 5 está a análise *swot* feita para o equipamento escolhido, após a análise efetuada no capítulo anterior.

Tabela 5 - Análise *swot* para o equipamento escolhido.

Pontos fortes

- Sistema simples e pouco complexo;
- Maior autonomia de funcionamento da máquina;
- Sistema pouco evasivo;
- Possibilidade de ser instalado em máquinas já existentes;
- Satisfação do cliente final.

Fraquezas

- Alteração da programação da máquina;
 - Pouco conhecimento da técnica utilizada;
 - Aumento da complexidade do sistema de automação.
-

Ameaças	
Oportunidades <ul style="list-style-type: none">• Equipamento pouco utilizado na indústria em causa;• Possibilidade de exclusividade;• Inovação do equipamento;	<ul style="list-style-type: none">• Mau funcionamento do equipamento;• Dificuldade de responder aos <i>timings</i> de abertura e fecho de alguns componentes;• Desconhecimento da fiabilidade do equipamento;• Possível aumento do custo final da máquina.

3.6 Anteprojeto da ideia selecionada

Após a análise de todas as ideias, a selecionada foi a descrita na secção 3.4.3 (Sistema de guiamento com apoio do sistema de alimentação). Esta foi selecionada pelo facto de ser o projeto menos evasivo para a máquina, pela maior simplicidade e pelo custo ser inferior relativamente aos restantes. Contudo, e como já referido anteriormente, seriam necessárias alterações a nível de programação e a inclusão de mais equipamento na máquina.

Em relação à ideia selecionada, existem três possibilidades para o equipamento de atuação que será utilizado para o guiamento do cabo metálico:

1. O sistema ser totalmente pneumático;
2. O sistema ser totalmente elétrico;
3. Um sistema híbrido, que combinasse o melhor de cada um dos sistemas referidos anteriormente.

Nas secções 3.6.1, 3.6.2 e 3.6.3, serão explicadas quais as vantagens e desvantagens desses sistemas, e quais as implicações dos mesmos.

3.6.1 Sistema pneumático

Em relação ao sistema pneumático, este seria constituído por:

- Quatro cilindros;
- Uma garra de aperto.

Estes quatro cilindros teriam de ter cursos e capacidades de carga diferentes. A grande vantagem da utilização deste sistema é que a grande parte do equipamento da

máquina é pneumático. Na zona frontal da máquina existe um sistema pneumático de guiamento de cabo e deve existir um sincronismo entre esse sistema e o sistema agora em estudo. Se o sistema estudado for pneumático, irá existir um maior sincronismo entre eles.

Para o programador, pode também ser mais fácil a utilização deste equipamento, tendo em conta que já o programa no restante equipamento da máquina.

O ponto mais complicado prende-se com os cilindros que irão ter de bloquear o fecho da agarra. Devido à sua posição, as dimensões destes dois cilindros teriam de ser bastante reduzidas face às cargas que estes teriam de suportar. Será necessário também a aquisição de reguladores de pressão e das válvulas, para fazer o controlo dos cilindros.

3.6.2 Sistema elétrico

Tal como no sistema pneumático, este tipo de solução irá necessitar de quatro cilindros e uma agarra.

A grande vantagem deste tipo de equipamento é a possibilidade de um maior controlo sobre o sistema. Um cilindro de acionamento elétrico tem a capacidade de parar/bloquear o seu movimento a qualquer instante, não tendo a obrigatoriedade de percorrer todo o seu curso, como no caso dos cilindros pneumáticos. No caso de cilindro de atuação elétrica, existe a possibilidade de as dimensões serem reduzidas, com a capacidade de fazer o bloqueio da agarra, como é pretendido. As desvantagens da utilização deste sistema são:

1. A possível complexidade de utilização deste sistema;
2. A sincronização com o sistema de guiamento frontal;
3. O custo do equipamento.

A possível complexidade reside no facto de, maioritariamente, a máquina ser construída por componentes pneumáticos, o que levaria à necessidade de aquisição de um controlador elétrico. Visto que se pretende um sistema pouco invasivo e de fácil adaptação em máquinas já comercializadas, esta opção seria pouco atrativa.

A sincronização do sistema de guiamento frontal com o sistema em estudo seria mais difícil, pois estar-se-ia a trabalhar com tipos de acionamento diferentes. Apesar de ser possível conhecer a velocidade de funcionamento de ambos os atuadores, caso a pressão de ar, por algum motivo, fosse alterada, seria necessário programar novamente o cilindro elétrico para este funcionar com o devido sincronismo, algo que não é conveniente.

Por norma, os cilindros e equipamentos de acionamento elétrico tem um custo superior ao material pneumático. Tendo em conta que se pretende que este

equipamento tenha uma boa relação preço/qualidade, deve-se assim tentar manter os custos o mais baixos possível.

A possível falha de sincronismo, que poderia levar a um problema de fiabilidade do sistema, e o facto de apresentar custos mais elevados, torna este sistema pouco atrativo.

3.6.3 Sistema híbrido

Após uma breve análise, foi pensado em utilizar um sistema híbrido, ou seja, a existência de um sistema que tivesse uma parte elétrica e outra pneumática.

Neste caso, considerou-se que apenas um dos cilindros deveria ser de acionamento elétrico e todo o restante sistema deveria ser pneumático. Verificou-se que seria interessante que o cilindro de bloqueio da agarra (de dimensões reduzidas) fosse de acionamento elétrico, pois teria, provavelmente, uma capacidade de carga superior a um cilindro pneumático com as mesmas dimensões. Todo o restante equipamento ficaria com acionamento pneumático, de forma a garantir o sincronismo dos sistemas. Esta seria a melhor forma de garantir um sistema fiável.

Contudo, foi verificado que o custo para a integração seria demasiado elevado, porque para além de ser necessário comprar o cilindro, seria necessária também a aquisição de um controlador apenas e só para o cilindro. Por estes motivos, foi abandonada a possibilidade da utilização do sistema híbrido.

3.6.4 Sistema de guiamento

Após uma análise dos prós e contras, foi decidido que o sistema a utilizar seria apenas pneumático, pelos seguintes motivos:

- Sistema pouco invasivo - grande parte dos movimentos móveis da máquina são de atuação pneumática;
- Possibilidade de ser instalado facilmente em máquinas que já estão em funcionamento;
- Maior sincronismo;
- Menor custo;
- Conhecimento prévio dos componentes.

O primeiro passo para o projeto, foi a seleção da agarra e dos cilindros que iriam ser utilizados. Numa tentativa de facilitar a adaptação deste sistema à máquina, procurou-se a utilização da mesma agarra e dos mesmos cilindros.

Foram selecionados dois cilindros do tipo DFM-20-100-P-A-GF. São cilindros que contêm guiamento e uma capacidade de carga que se enquadra no pretendido. Estes cilindros necessitam de guiamento, pois um dos cilindros é que irá mover o outro. Na Figura 23 pode-se ver o tipo de movimento que terão de efetuar.

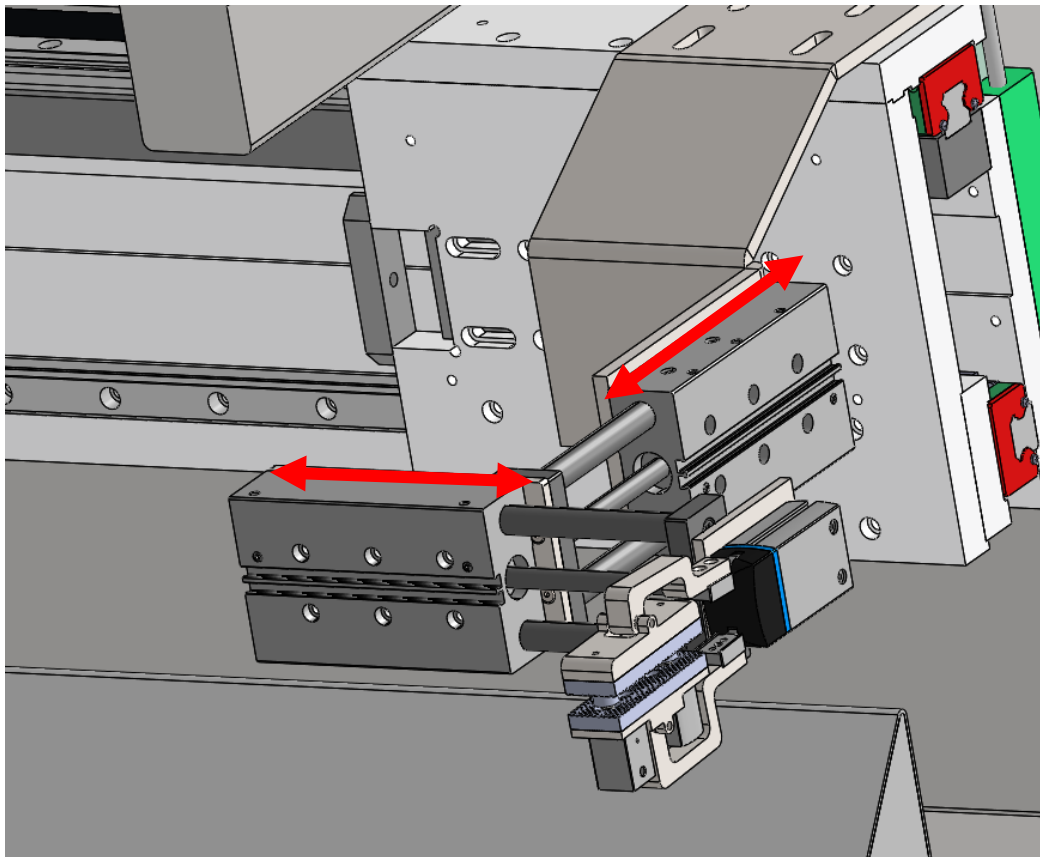


Figura 23 - Movimentos dos cilindros DFM

As capacidades de carga no avanço e recuo (188 N e 141 N, respetivamente, como é possível ver pela Tabela 6) garantem o bom funcionamento do equipamento, pois o peso do equipamento total instalado a jusante do primeiro cilindro é inferior a 141 N.

Visto que o posicionamento deste equipamento estará alinhado com o equipamento que está instalado na parte da frente da máquina, o curso destes cilindros deverá ser igual ao já existente. Na Tabela 6 estão descritas as principais características destes cilindros.

Tabela 6 - Características de DFM-20-100-P-A-GF [57]

Característica	Valores
Curso	100 mm
Pressão de funcionamento	2 a 10 bar
Temperatura de funcionamento	-20 a 80°C
Velocidade máxima	0,8 m/s
Peso total	1596 g
Guiamento	Sim
Força de avanço com 6 bar	188 N
Força de retorno com 6 bar	141 N
Material	Alumínio
Deteção de posição	Por sensor

Após a seleção dos cilindros passou-se para a escolha da agarra. Como no caso dos cilindros, procura-se inicialmente utilizar a mesma agarra neste equipamento. A agarra selecionada foi do tipo DHRS-25-A. As características desta agarra estão descritas na Tabela 7, na qual se pode verificar a rápida resposta da agarra tanto no fecho como na abertura: 105 e 102 ms, respetivamente [57].

Um dos pontos ao qual foi dada especial atenção, foi a força de aperto. Apesar dos acessórios montados nas pinças da agarra, esta deve ser capaz de cumprir a sua função. Na Figura 24, pode-se ver a agarra com todo o equipamento montado:

- Dois cilindros pequenos, que impedem o fecho total do sistema;
- Os acessórios que asseguram o aperto do cabo.

Este equipamento tem um peso global de 1,115 kg equivalente a 11,15 N (incluindo parafusos) e esta agarra tem uma força de aperto de 75 N, garantindo assim o correto funcionamento do equipamento [57]. Assim verificou-se que é possível utilizar a mesma agarra tanto na zona frontal como no sistema de guiamento.

Tabela 7 - Características da agarra Festo DHRS-25-A [57]

Característica	Valores
Tamanho	25 mm
Ângulo máximo de abertura	180°
Número de pinças	2
Função de aperto	Radial
Deteção de posição	Por sensor
Tempo mínimo de aperto a 6bar	105 ms
Tempo mínimo de abertura a 6bar	102 ms
Temperatura de funcionamento	5 a 60 °C
Peso	270 g
Força máxima de aperto no <i>grip</i>	75 N
Material do corpo	Liga de alumínio anodizado

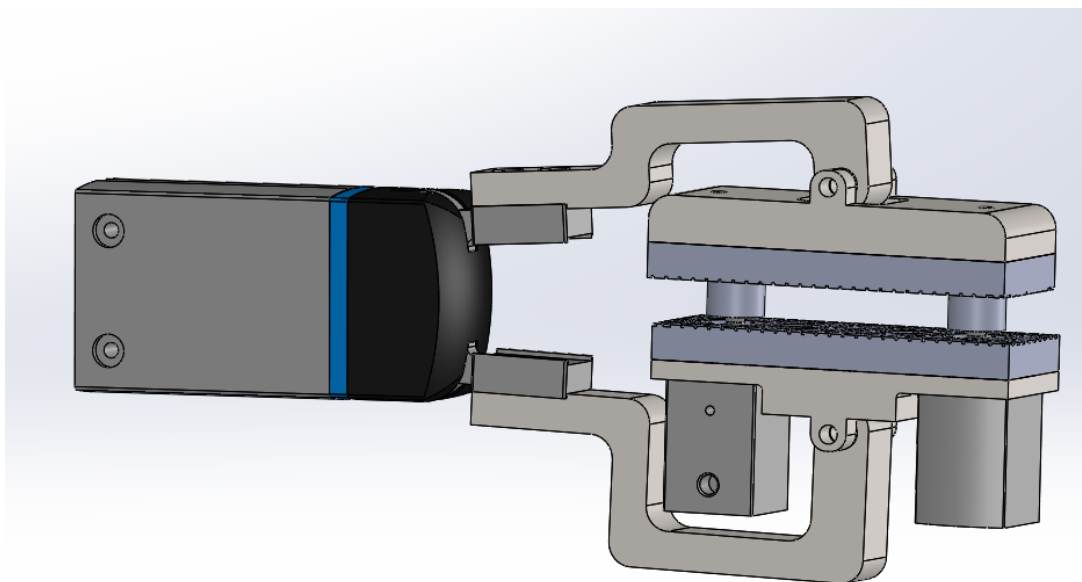


Figura 24 – Agarra DHRS-25-A com equipamento

Por fim, passou-se à seleção dos cilindros de pequenas dimensões, que irão impedir ou desimpedir o bloqueio total da agarra.

Este equipamento deve ter algumas características importantes: ser compacto para ser capaz de ser montado na pinça da agarra, e ter capacidade de impedir o fecho da agarra (ver Figura 24).

Em conjunto com o fornecedor de equipamento pneumático, foi selecionado o cilindro AEVC-12-10-A-P. Este cilindro tem uma força de avanço de 59 N e o recuo é feito por mola, o que implica uma força de 4 N (cilindro de simples efeito). Visto que se irá utilizar dois cilindros, a força total de avanço é de 118 N [57]. Como anteriormente referido, a força de aperto da agarra é de 75 N, garantindo assim que é possível impedir o fecho completo da agarra. Neste caso, a força de recuo não terá muita importância pois, quando o cilindro deixar de ser atuado, a agarra irá vencer a força efetuada pelos dois cilindros e irá fechar (efeito pretendido).

Este cilindro, como se pode confirmar na Tabela 8, não tem um detetor de posição. O detetor de posição poderia ser importante pelo facto de saber se existe algum erro durante o guiamento dos cabos. Contudo, o facto de adicionar esta função ao cilindro faria com que as suas dimensões fossem claramente superiores, tendo igualmente implicações no seu peso, que seria mais elevado.

Se o peso não teria uma grande influência na escolha, já passar o comprimento de 36,5 mm para 52,4 mm tornava a instalação demasiado complexa. Na Tabela 8 pode-se ver algumas diferenças entre estes dois cilindros.

Tabela 8 - Comparação entre os cilindros AEVC-12-10-A-P Vs. AEVC-12-10-A-P-A [57]

Características	AEVC-12-10-A-P	AEVC-12-10-A-P-A
Curso	10 mm	10 mm
Diâmetro do êmbolo	12 mm	12 mm
Deteção de posição	Não	Através de sensor
Temperatura de funcionamento	-20 a 80°C	-20 a 80°C
Peso	49 g	79 g
Força de avanço a 6bar	59 N	59 N
Força de recuo	Recuo por mola (4 N)	Recuo por mola (4 N)

Pressão de operação	0 a 8 bar	0 a 8 bar
Material do corpo	Liga de alumínio anodizado	Liga de alumínio anodizado
Dimensões com haste recuada	36,5x26x20 mm ³	52,4x26x24 mm ³

Após ter sido dimensionada a agarra e os cilindros que iriam impedir o seu bloqueio, foi necessário dimensionar as peças que iriam estar em contacto com os cabos. Visto que o sistema que é utilizado na zona frontal do equipamento apresenta bons resultados, foi pensado utilizar algo idêntico, embora sejam necessárias algumas diferenças significativas. Existem duas peças maquinadas que fazem a ligação da agarra. A peça da zona superior é diferente da peça inferior, devido à utilização dos cilindros de bloqueio.

Na Figura 25 pode-se ver que os dois cilindros que impedem o fecho da agarra estão seguros numa peça maquinada em aço. Esta peça tem também duas aberturas que permitem a passagem do êmbolo do cilindro. Na zona superior, está a segunda peça maquinada em aço que tem a função de fazer a ligação entre a agarra e uma peça em Poliamida.

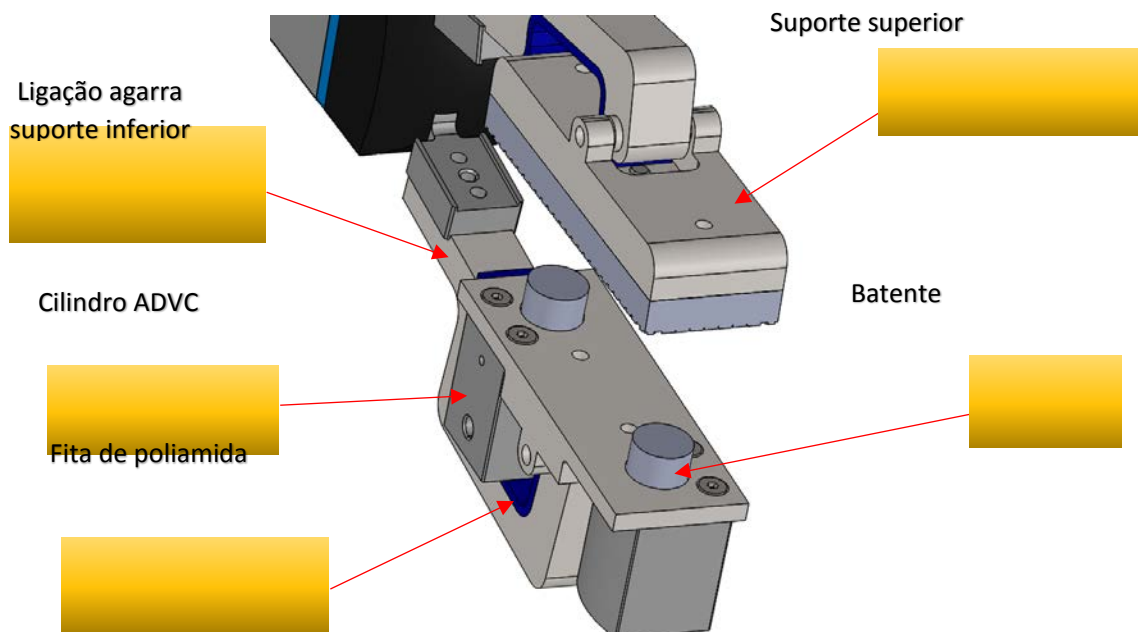


Figura 25 - Suporte dos cilindros

De forma a não danificar os cabos de aço, foi decidido utilizar a poliamida nas peças que estariam em contacto direto com os cabos, para não os danificar. Estas peças, como é possível verificar pela Figura 26, apresentam uns rasgos para permitir que o cabo tenha maior dificuldade em escorregar. Esta peça está montada tanto na zona inferior, como na zona superior. Apesar de terem geometrias diferentes ambas têm a mesma função.

Na Figura 26 estão representados os batentes que estão colocados na ponta da haste dos cilindros. Estes têm duas funções: limitar a zona onde estão os cabos e garantir o contacto entre a zona inferior e a zona superior, durante o acionamento dos cilindros. Estas duas peças são também fabricadas em poliamida, visto que estarão em contacto direto com os cabos e que é necessário garantir que não irão danificar os mesmos.

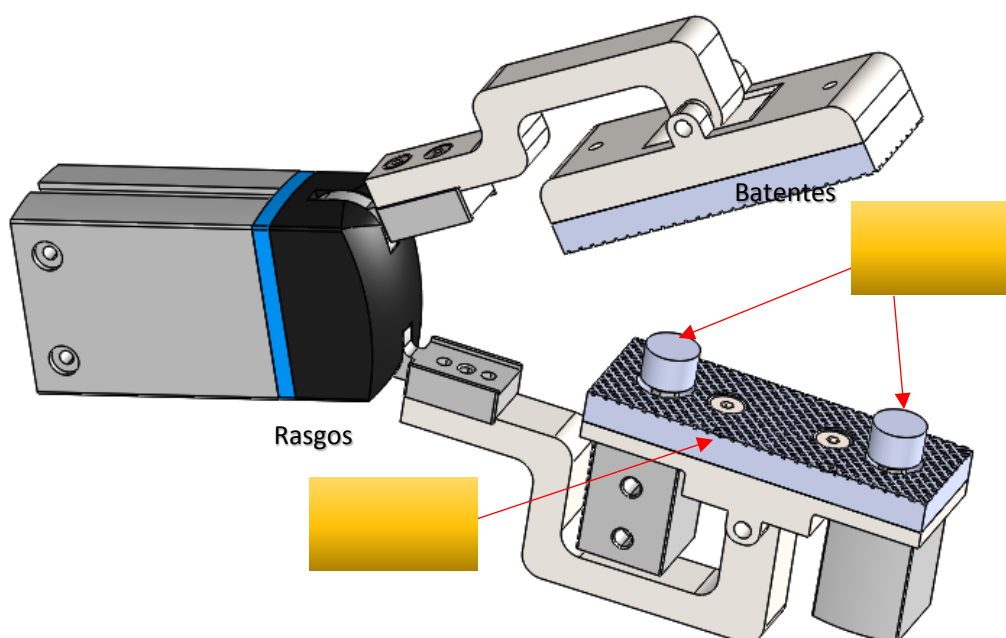


Figura 26 - Desenho da agarra com os seus componentes.

Este sistema, como referido na secção 3.4.3, iria ser suportado pelo sistema de alimentação. Na Figura 27 pode-se verificar como é que o sistema ficou incorporado no sistema de alimentação.

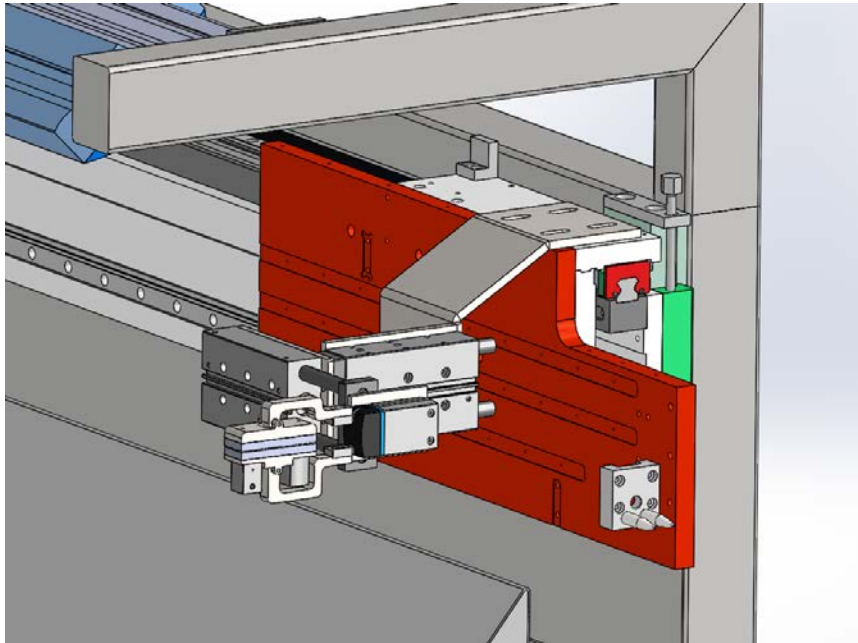


Figura 27 - Sistema de alimentação

Para realizar esta ligação, foi idealizada uma chapa quinada que pudesse suportar todo o sistema, sem causar grandes alterações ao sistema já definido. Seria assim, uma peça com um custo reduzido, e que conseguiria cumprir a função pretendida. A chapa foi projetada com 8 mm de espessura, de forma a garantir que não existiriam problemas de estabilidade no sistema de guiamento. Na Figura 28 pode-se ver essa peça.

Outro ponto que foi tomado em consideração, foi que o desenho da chapa não interferisse com os equipamentos já existentes na máquina.

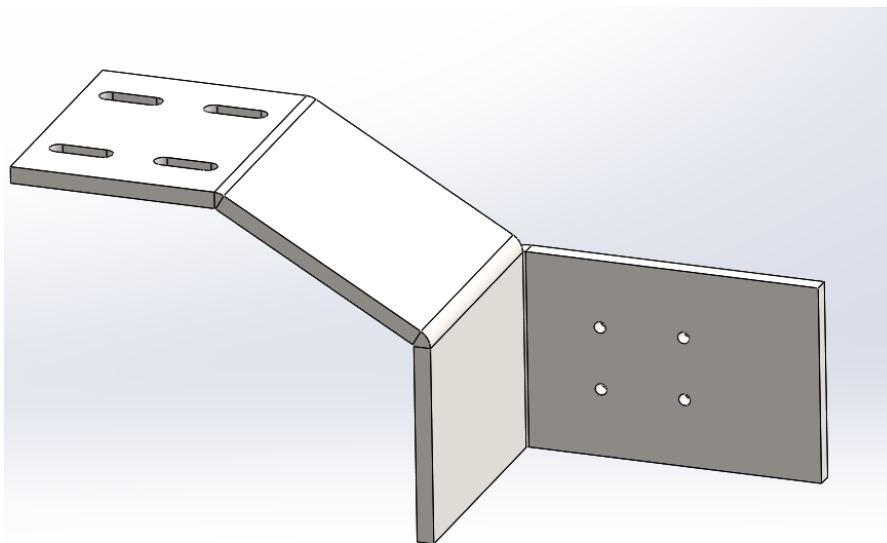
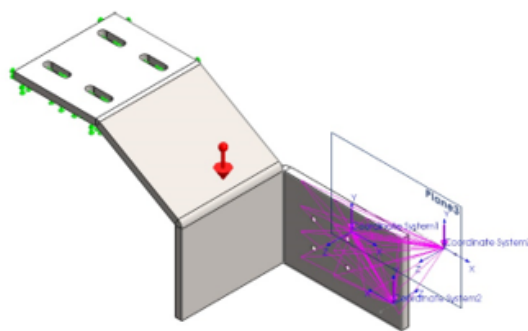


Figura 28 - Chapa de suporte do sistema de guiamento

oi efetuada uma análise de elementos finitos estática e dinâmica. Estas análises foram necessárias, para verificar se a chapa de suporte do sistema de guiamento não estaria a sofrer nenhuma deformação excessiva devido ao peso de todo o equipamento, ou existisse alguma zona onde a peça pudesse deformar excessivamente.

Assim, na Figura 29 pode-se verificar a zona de fixação do equipamento, esta fica situada nos 4 furos oblongos existentes na zona superior. Após a definição da zona de fixação, definiu-se as propriedades da análise, as quais podemos verificar na Figura 30. Um ponto importante da análise foi o facto de os elementos escolhidos foram elementos de casca de espessura nula. Na Figura 31, podemos verificar o espectro da malha utilizada para esta análise. Com esta análise, foi possível verificar que existe uma pequena zona com concentração de tensões de von Mises como possível ver na Figura 32. No entanto, os valores não são críticos, pois não ultrapassam os limites de deformação elástica do material utilizado (S 235 JR), não apresentando qualquer risco para o equipamento.



Model name: ChapadeSuporte
Current Configuration: Default

Figura 29 - Zona de fixação da chapa

Mesh information

Mesh type	Shell Mesh Using Mid-surfaces
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	9.4567 mm
Minimum element size	3.1522 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	5618
Total Elements	2691

Figura 30 - Parâmetros da malha de cálculo utilizada na simulação.

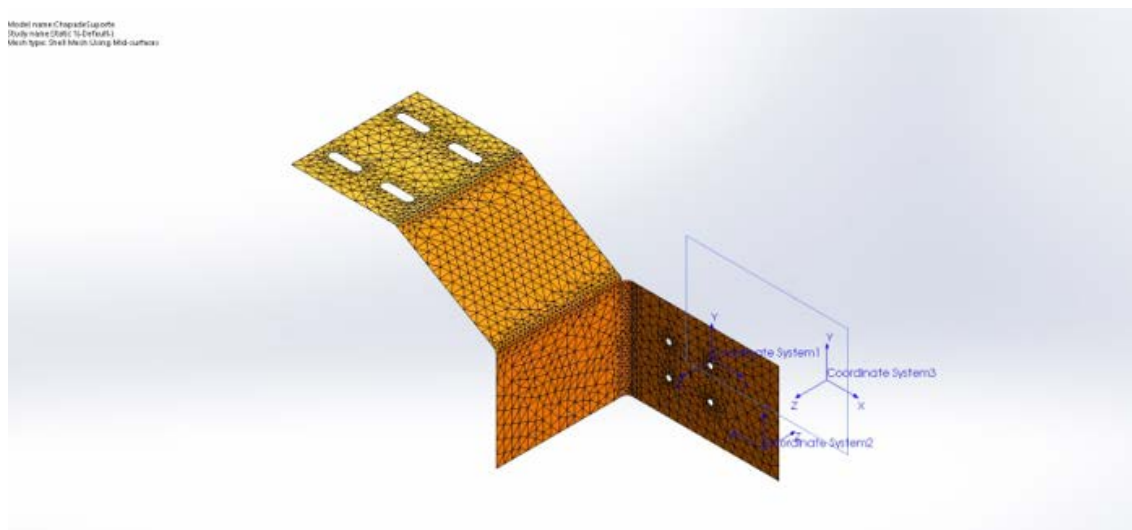


Figura 31 - Aspetto da malha utilizada para o cálculo

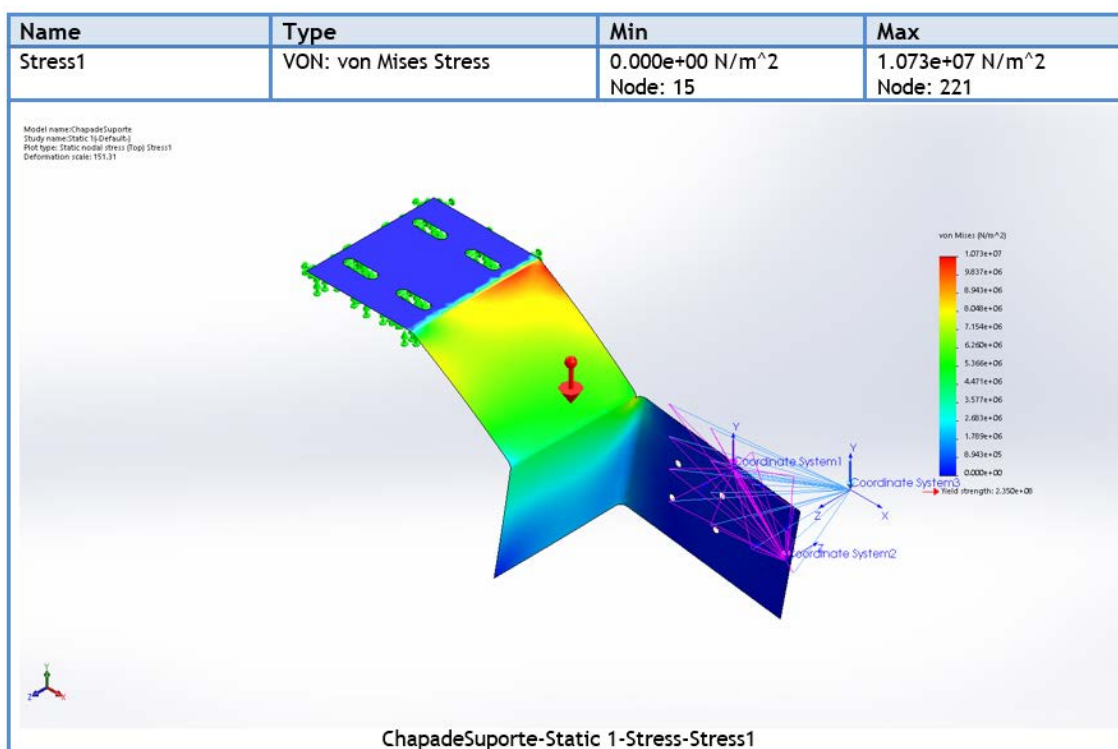


Figura 32 – Análise da tensão equivalente de von Mises máxima através de elementos finitos

Em relação à flexão sofrida pela chapa devido ao peso do equipamento, pode-se também verificar que esta nunca é superior a 0,25 mm, o que, neste equipamento, é perfeitamente aceitável.

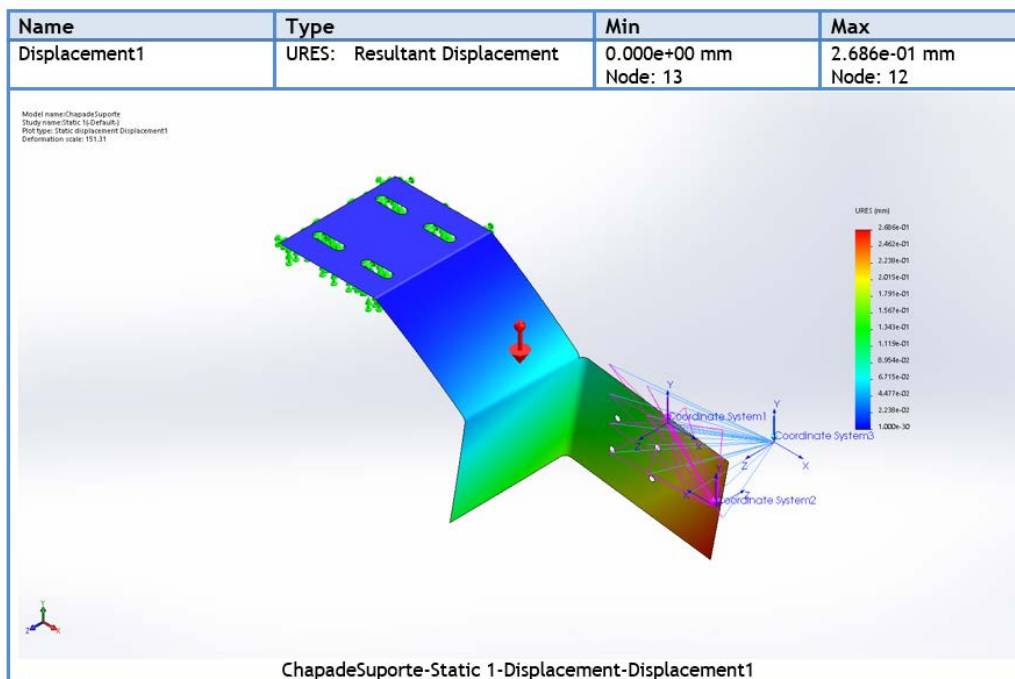


Figura 33 – Análise da deslocação máxima através de elementos finitos

Por fim, pode-se verificar na Figura 34, que o coeficiente de segurança mínimo é de 14,24 logo, podemos concluir, que a chapa está claramente sobredimensionada.

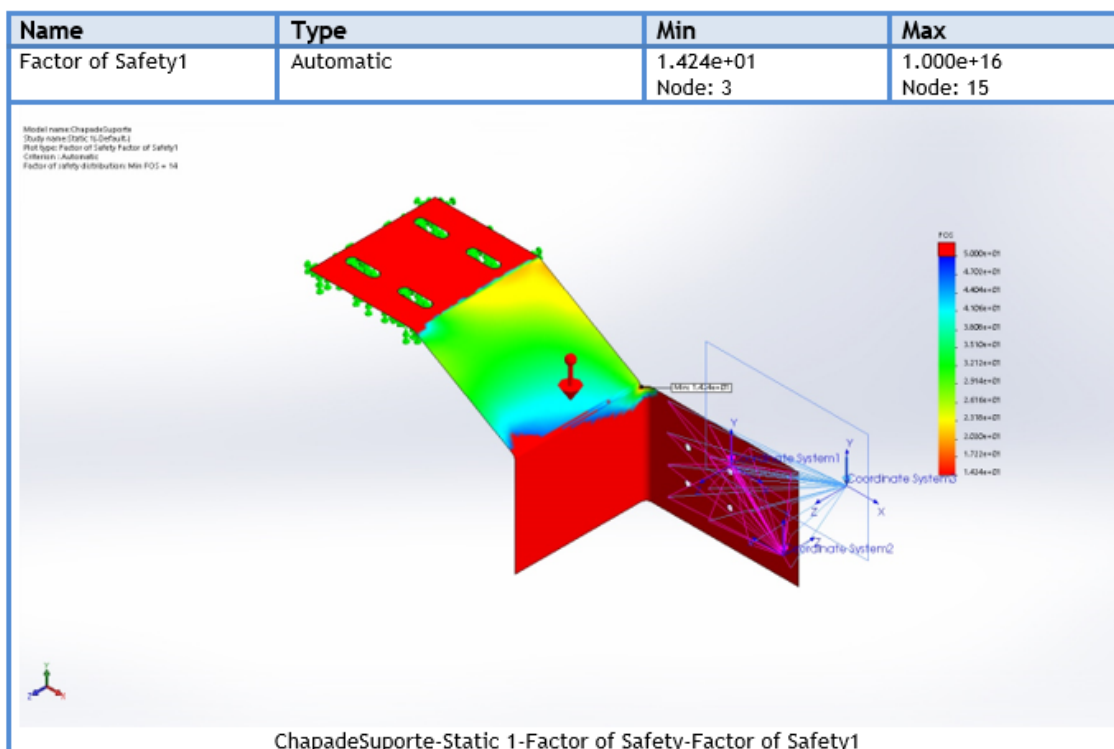


Figura 34 - Análise do coeficiente de segurança

Contudo, esta peça não conseguia cumprir as dimensões necessárias de forma a existir um alinhamento correto entre a agarra frontal e a traseira. Desta forma, esta solução foi abandonada.

Então, foi necessário procurar uma nova forma para este sistema ser suportado. Surgiu a ideia de um sistema que funcionasse do lado aposto, juntamente com a agarra da parte frontal.

Decidiu-se então utilizar uma peça como mostrado na Figura 35, embora esta não tenha sido utilizada, pois nunca teria a estabilidade necessária. O braço seria demasiado longo e, naturalmente, a flexão seria demasiado grande, o que causaria problemas estruturais.

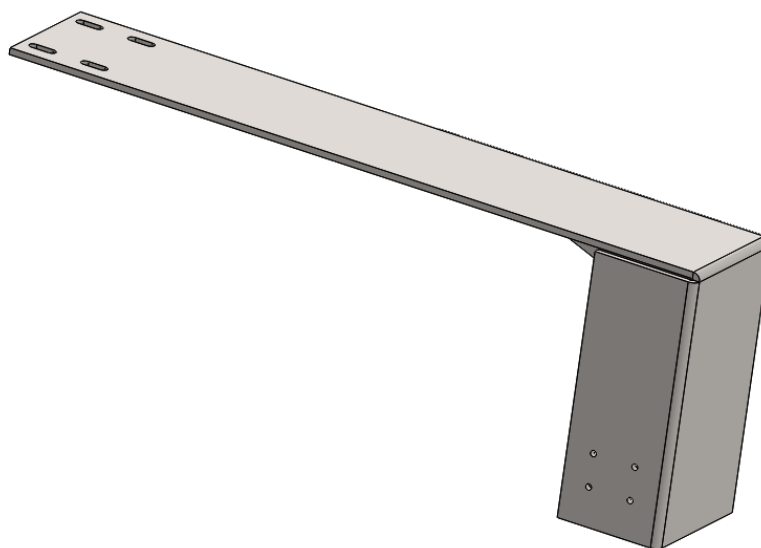
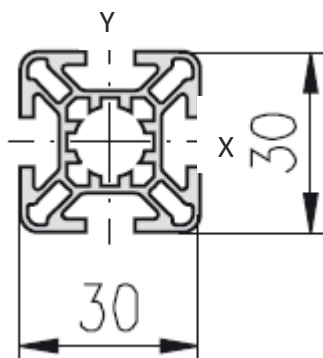
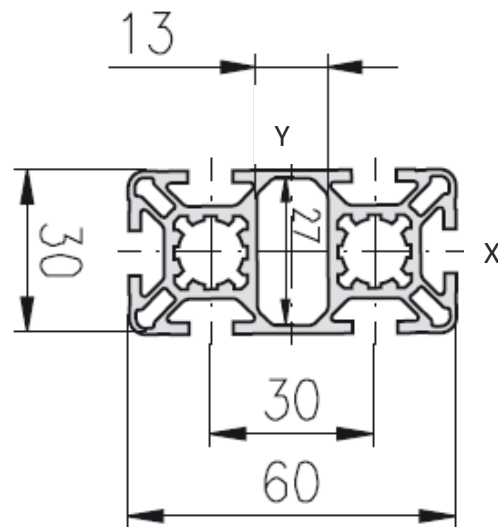
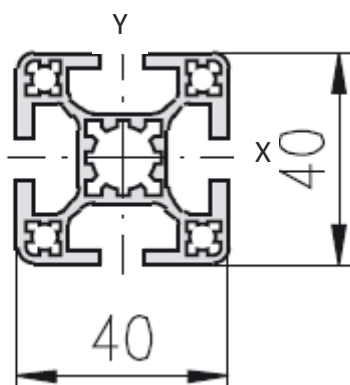
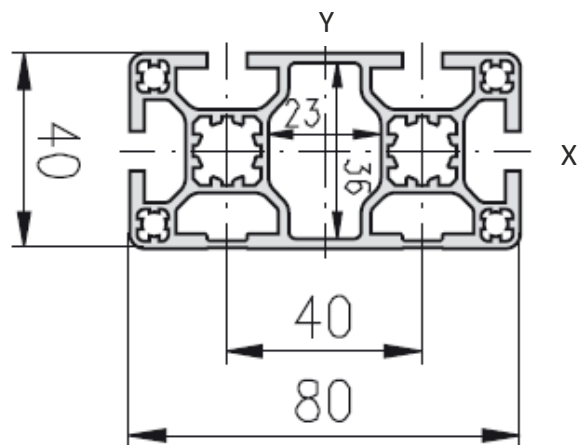


Figura 35 - Peça em chapa para novo modelo

Foi então que surgiu a ideia de utilizar perfil técnico. Para tal, desenhou-se esse sistema com quatro tipos de perfil $30 \times 30 \text{ mm}^2$, $30 \times 60 \text{ mm}^2$, $40 \times 40 \text{ mm}^2$ e $40 \times 80 \text{ mm}^2$. Na Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39 pode-se ver cada um desses perfis com as respetivas dimensões.

Figura 36 - Perfil técnico 30x30 mm²Figura 37 - Perfil técnico 30x60 mm²Figura 38 - Perfil técnico 40x40 mm²Figura 39 - Perfil técnico 40x80 mm²

Projetou-se cada um destes sistemas com o perfil indicado para os testes estruturais. Após terem sido projetados estes sistemas com o perfil técnico, foram realizadas análises estruturais, que vieram a demonstrar que o perfil mais indicado seria o perfil com as dimensões 40x80 mm². Na Tabela 9 podemos ver os valores máximos dos deslocamentos de cada um dos perfis, assim como os valores máximos das tensões equivalente de von Mises obtidas após uma análise de elementos finitos.

Tabela 9 – Deslocamentos e tensões equivalentes de von Mises máximas para cada um dos perfis

Tipo de perfil	Deslocamento vertical [mm]	Tensão [N/mm ²]	Momento de Inércia I_x [mm ⁴]	Momento de Inércia I_y [mm ⁴]	Peso/Metro [kg/m]
Perfil 30x30 mm ²	6,4 mm	$7,014 \times 10^7$	$2,8 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	0,9
Perfil 30x60 mm ²	0,8 mm	$2,863 \times 10^7$	$19,6 \times 10^4$	$5,1 \times 10^4$	1,5
Perfil 40x40 mm ²	1,8 mm	$2,265 \times 10^7$	$9,1 \times 10^4$	$9,1 \times 10^4$	1,5
Perfil 40x80 mm ²	0,26 mm	$8,6 \times 10^6$	$63,4 \times 10^4$	$17,3 \times 10^4$	2,7

Na Figura 40, pode-se ver o primeiro “esboço” deste sistema.

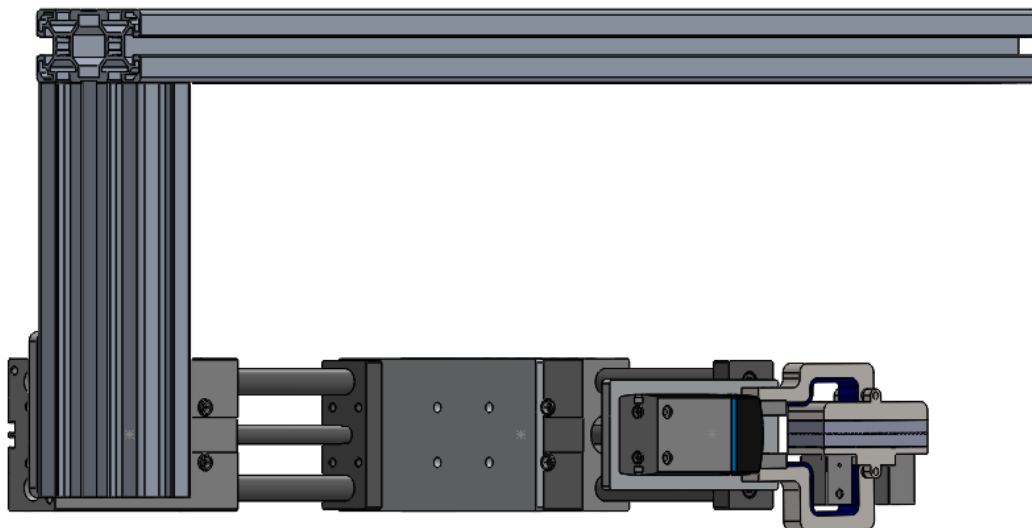


Figura 40 - Esboço do sistema de guiamento com perfil técnico 40x80 mm²

Após feita a análise estrutural e verificado que o perfil mais adequado seria o anteriormente referido, é realizado a fase final do desenho que está representado na Figura 41.

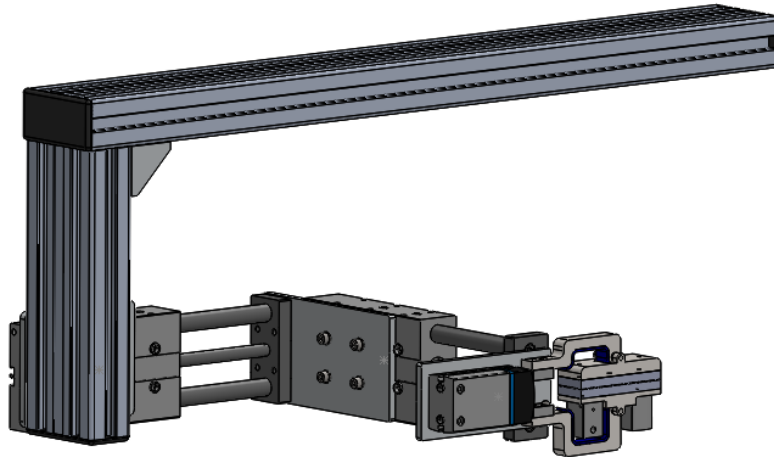


Figura 41 - Desenho final do sistema de guiamento com perfil técnico 40x80 mm²

Pode-se ver o mesmo sistema instalado na máquina, onde podemos verificar o “ataque” aos cabos a ser feito do lado oposto ao inicialmente pensado. Este sistema garante um funcionamento alinhado com a agarra frontal.

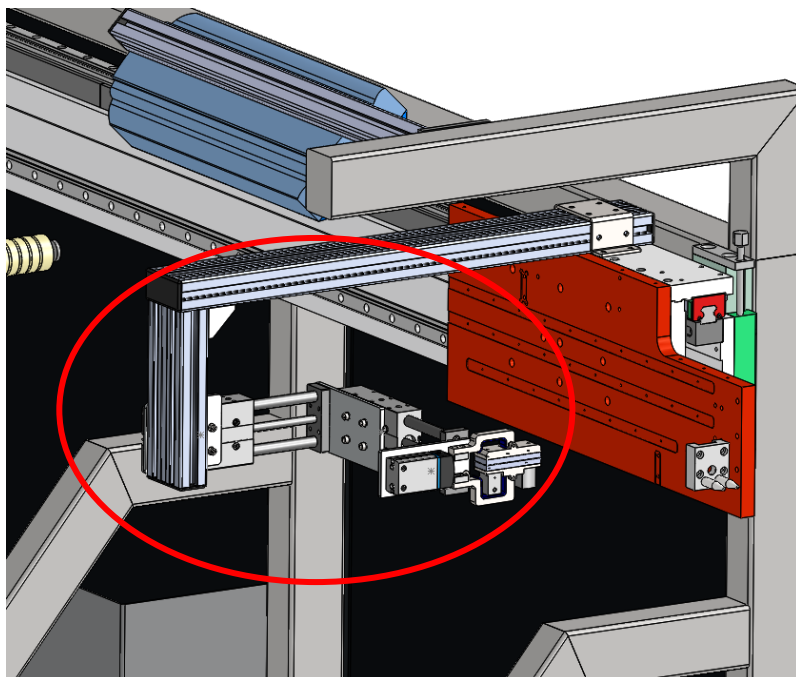


Figura 42 - Sistema de guiamento com perfil técnico 40x80 mm² montado na estrutura

Por último, verificou-se a necessidade da inclusão das chapas de suporte dos cilindros e da agarra pneumática. Estas três chapas têm a função de suportar estes equipamentos, mas também de permitir alguma afinação no equipamento. O facto de estar a ser utilizado um perfil técnico juntamente com estas peças em chapa permite uma maior flexibilidade dimensional ao sistema. Na Figura 43, a azul, pode-se ver as três chapas que cumprem a função anteriormente referida.

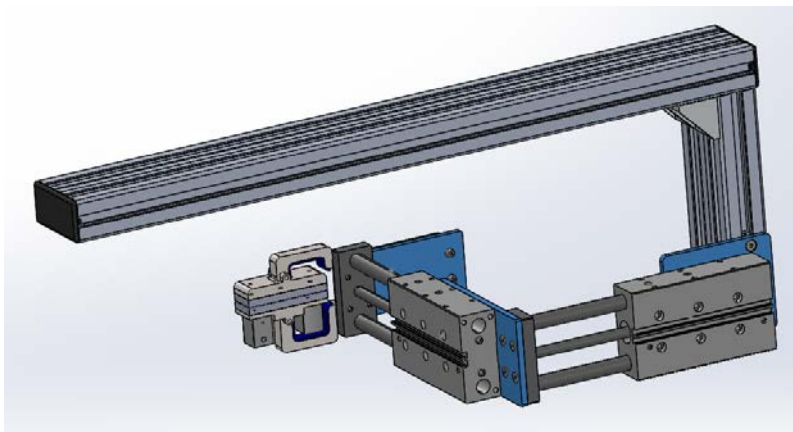


Figura 43 - Chapas de suporte dos cilindros

3.6.5 Sistema de selecionador de cabos

Os requisitos que têm que ser respeitados para este sistema são os seguintes:

- Sistema de acionamento pneumático;
- Sistema elevado, por forma a separar os cabos conformes dos cabos não conformes;
- Existência de uma chapa que faria o guiamento dos cabos conforme a sua condição.

O primeiro passo para começar o projeto deste sistema foi pensar de que forma seria feita a ligação entre a chapa de seleção e o veio, de forma a este poder rodar de forma a seleccionar os cabos. Assim, decidiu-se utilizar um “jogo” de mancais para fazer essa ligação, como se pode ver na Figura 44. Um dos mancais está ligado à chapa, enquanto o outro está ligado ao suporte.

Se inicialmente se tinha pensado utilizar um varão com dimensões reduzidas (2 a 6 mm de diâmetro), rapidamente se verificou que seleccionar mancais para esses diâmetros seria dispendioso, difícil de encontrar e com longos prazos de entrega. Após consultar alguns fabricantes e fornecedores, verificou-se que o diâmetro mínimo normalmente utilizado para mancais é de 12 mm. Existia, agora o problema de utilizar um varão de

12 mm de diâmetro que, para além de dispendioso, seria extremamente pesado para o sistema.

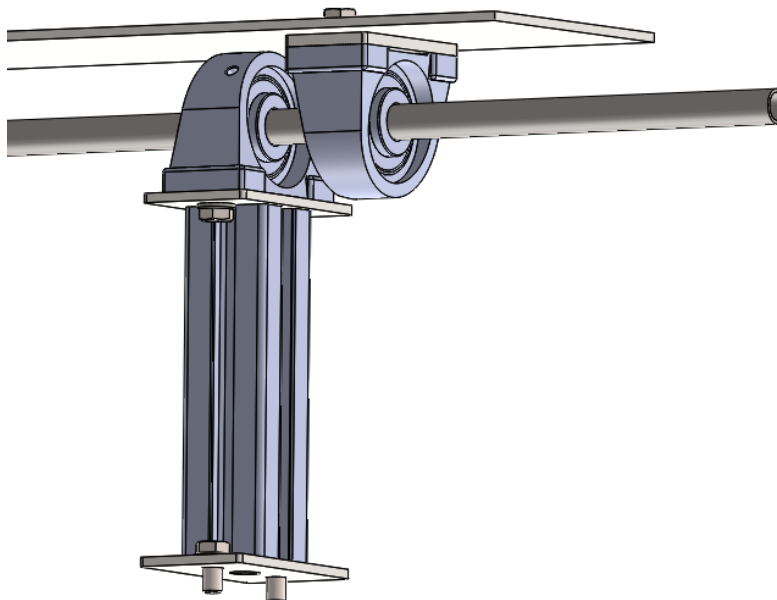


Figura 44 - Jogo de mancais

A solução encontrada foi a utilização de tubo que, para além de ter um preço bastante acessível, iria de encontro ao pretendido. Consultando o fornecedor de mancais, verificou-se que seria mais fácil (no sentido de existir stock disponível com maior facilidade) encomendar mancais com diâmetro de 15 mm e seguiu-se o conselho do fornecedor.

Inicialmente, foram sugeridos três tipos de mancais, como se pode ver na Figura 45, Figura 46 e Figura 47.



Figura 45 - Mancal da série P200 [58]



Figura 46 - Mancal da série UCP200 [58]



Figura 47 - Mancal da série UCPA200 [58]

A grande diferença entre eles é o tipo de fixação. Se no primeiro e no segundo existe um furo oblongo passante para a ligação, já no terceiro caso existe na zona inferior um furo roscado. Assim, no primeiro e segundo caso a ligação teria de ser feita pelo método de parafuso-porca, ou por um parafuso roscado numa superfície, enquanto que no terceiro caso a ligação seria feita por meio de um parafuso.

Para tornar a montagem deste equipamento mais simples, foi decidido utilizar um mancal da série UCPA 200.

Com a série do mancal escolhida será então necessário passar à escolha da dimensão deste. A Figura 48 mostra a tabela presente no catálogo da Chiaravalli.

CHIARAVALLI GROUP BRAND FSB®
CAST IRON PILLOW BLOCKS SERIES UCPA 200

CAST IRON PILLOW BLOCKS SERIE UCPA 200

UCPA 200

FROM 202 TO 211
SUITABLE FOR COVER ASSEMBLY

UCFL	PART NUMBER	shaft hole Ø mm	DIMENSIONS mm										bearing No.	housing No.	weight kg
			c	l	r	s	w	e	n	A	o	h			
202	93600202	15	30,2	76	52	40	M10x1,5	11	62	31	12,7	13	UC 202	PA202	0,63
203	93600203	17	30,2	76	52	40	M10x1,5	11	62	31	12,7	13	UC 203	PA203	0,62
204	93600204	20	30,2	76	52	40	M10x1,5	11	62	31	12,7	13	UC 204	PA204	0,64
205	93600205	25	36,5	84	56	45	M10x1,5	12	72	34	14,3	15	UC 205	PA205	0,81
206	93600206	30	42,9	94	66	50	M14x2	12	84	38,1	15,9	18	UC 206	PA206	1,20
207	93600207	35	47,6	110	80	55	M14x2	13	95	42,9	17,5	20	UC 207	PA207	1,65
208	93600208	40	49,2	116	84	58	M14x2	13	100	49,2	19	20	UC 208	PA208	2,00
209	93600209	45	54,2	120	90	60	M14x2	13	108	49,2	19	25	UC 209	PA209	2,30
210	93600210	50	57,2	130	94	64	M16x2	14	116	51,6	19	25	UC 210	PA210	2,90

Figura 48 - Tabela de seleção de mancal UCPA200 [58]

Pode-se verificar que, para colocar um tubo de 15 mm de diâmetro, será necessário selecionar o mancal com o “part number” (93600202) UCPA202 pois, como referido anteriormente, o tubo utilizado será de 15 mm de diâmetro.

Entre as várias características de cada mancal que se podem retirar da tabela presente na Figura 48, está o diâmetro do roscado, que no caso será M10. O facto de ser necessário utilizar um parafuso M10, veio a revelar-se um problema.

Após a montagem dos mancais, foi verificado que os parafusos e anilhas M10 iriam bater no perfil, impedindo assim a sua montagem. Na Figura 49 pode-se ver o conflito existente.

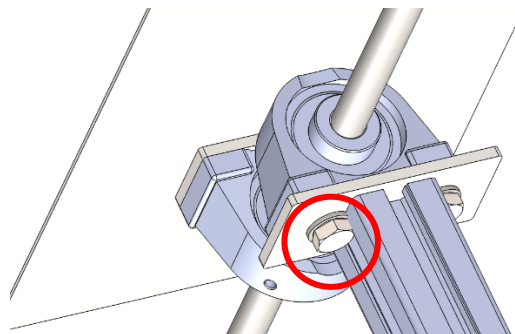


Figura 49 - Erro existente com a utilização dos parafusos M10

Para solucionar este problema, foram idealizadas duas soluções: a primeira seria utilizar um perfil mais pequeno, a segunda seria aumentar o tamanho da chapa de suporte dos mancais e utilizar um mancal do tipo UCP. A opção tomada foi então utilizar um mancal do tipo UCP.

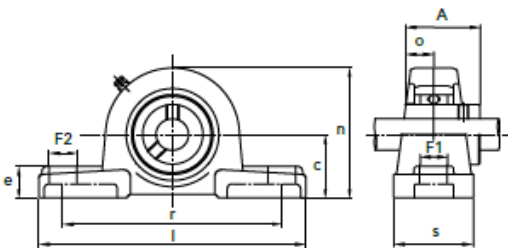
Como se pode ver pela Figura 50, para utilizar um tubo com 15 mm de diâmetro, deve-se utilizar o mancal com o “part number” UCP202.

CAST IRON PILLOW BLOCKS SERIES UCP 200

UCP 200

FROM 202 TO 211

SUITABLE FOR COVER ASSEMBLY



UCP	PART NUMBER	shaft hole Ø mm	DIMENSIONS mm										bolt			weight kg
			c	l	r	s	F1	F2	e	n	A	o	bearing No.	dimensions mm	housing No.	
202	93100202	15	30,2	127	95	38	13	16	14	62	31	12,7	UC 202	M10	P202	0,63
203	93100203	17	30,2	127	95	38	13	16	14	62	31	12,7	UC 203	M10	P203	0,62
204	93100204	20	33,3	127	95	38	13	16	14	65	31	12,7	UC 204	M10	P204	0,70
205	93100205	25	36,5	140	105	38	13	16	15	71	34	14,3	UC 205	M10	P205	0,81
206	93100206	30	42,9	165	121	48	17	20	17	83	38,1	15,9	UC 206	M14	P206	1,30
207	93100207	35	47,6	167	127	48	17	20	18	93	42,9	17,5	UC 207	M14	P207	1,60
208	93100208	40	49,2	184	137	54	17	20	18	98	49,2	19	UC 208	M14	P208	2,00
209	93100209	45	54	190	146	54	17	20	20	106	49,2	19	UC 209	M14	P209	2,30
210	93100210	50	57,2	206	159	60	20	23	21	114	51,6	19	UC 210	M16	P210	2,90
211	93100211	55	63,5	219	171	60	20	23	23	126	55,6	22,2	UC 211	M16	P211	3,70
212	93100212	60	69,8	241	184	70	20	23	25	138	65,1	25,4	UC 212	M16	P212	4,90
213	93100213	65	76,2	265	203	70	25	28	27	151	65,1	25,4	UC 213	M20	P213	5,90
214	93100214	70	79,4	266	210	72	25	28	27	157	74,6	30,2	UC 214	M20	P214	6,60
215	93100215	75	82,6	275	217	74	25	28	28	163	77,8	33,3	UC 215	M20	P215	7,30
216	93100216	80	88,9	292	232	78	25	28	30	175	82,6	33,3	UC 216	M20	P216	10,0
217	93100217	85	95,2	310	247	83	25	28	32	187	85,7	34,1	UC 217	M20	P217	12,2
218	93100218	90	101,6	327	262	88	27	30	33	200	96	39,7	UC 218	M22	P218	14,7

Figura 50 - Tabela de seleção do mancal UCP200 [58]

Após a seleção deste mancal, foi dimensionada a chapa de suporte do mancal. Para evitar um sistema do tipo parafuso-porca, os furos dessa chapa foram dimensionados para serem roscados. Na Figura 51, pode-se ver como os parafusos são apertados na chapa. Esta chapa, como se pode ver pelo desenho técnico presente no anexo 6.4 Desenhos Técnicos com o nome “Chapa de suporte superior”, tem um furo passante M6 no centro, para ser possível apertar a mesma ao perfil técnico, e tem os dois furos roscados M10, para segurar o mancal.

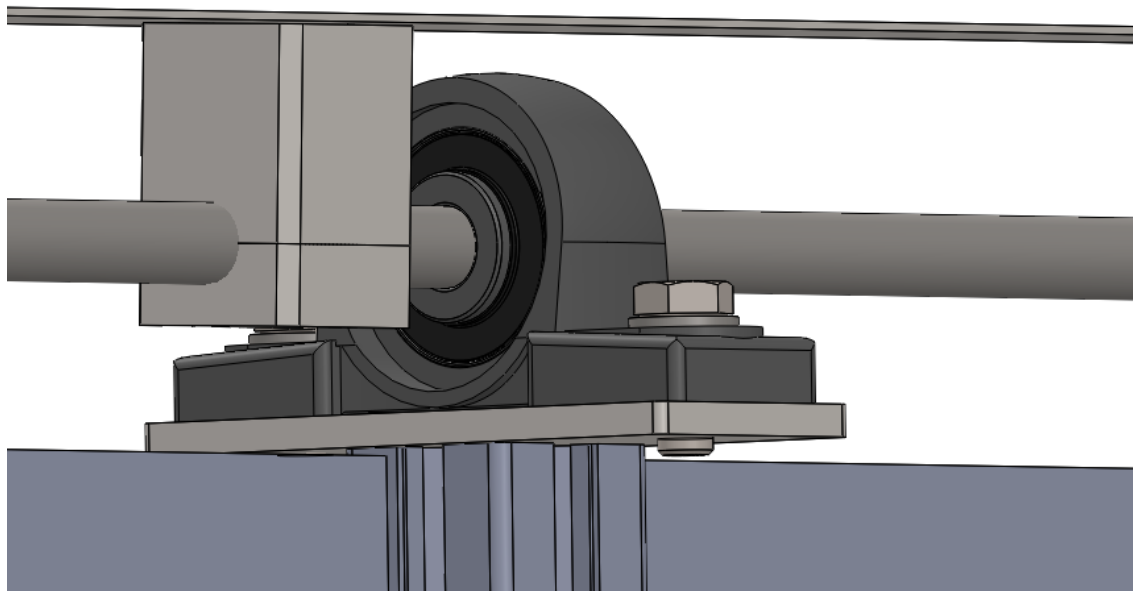


Figura 51 - Suporte dos mancais

Pelo facto de a chapa de seleção ser apenas utilizada para encaminhar os cabos que seriam “largados”, pensou-se inicialmente em escolher uma chapa com uma espessura não superior a 3 mm. A decisão dos 3 mm foi tomada com alguns requisitos em mente, sendo eles:

- A não existência de flexão significativa entre os suportes;
- O custo da chapa não ser demasiado elevado;
- Evitar a necessidade da utilização de um elemento pneumático de custo elevado (quanto mais espessa a chapa, mais pesada, logo seria necessário um equipamento com maior capacidade de carga).

O primeiro problema que surgiu, foi a utilização de parafusos M10 nos mancais UCPA202 na chapa de seleção, pois a solução anteriormente referida (utilização de mancais UCP) seria apenas para os mancais que estão ligados às chapas de suporte.

Pela Figura 52, pode-se verificar que o problema da utilização de parafusos M10 é o facto dos cabos puderem ficar presos na cabeça destes e não caírem para a zona de recolha de forma correta.

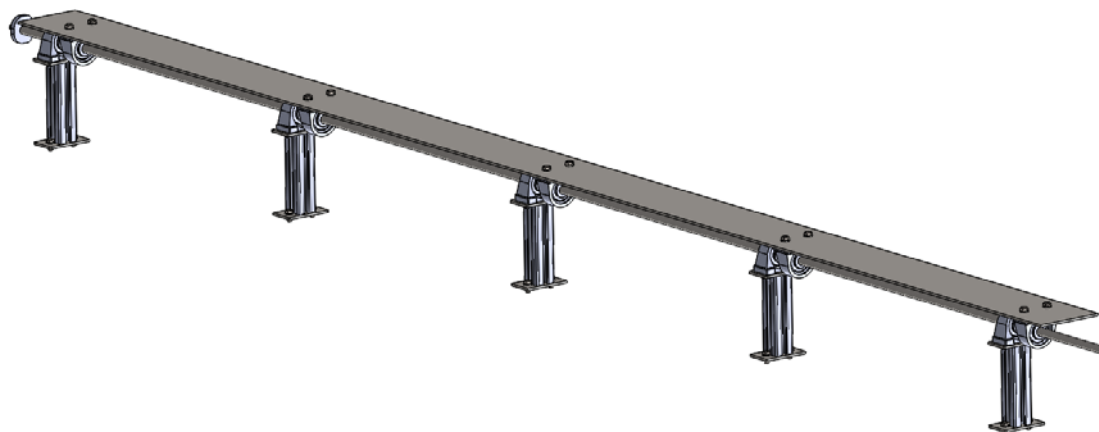


Figura 52 - Sistema de seleção de cabos conformes e não-conformes

Pensou-se então em utilizar parafusos segundo a norma ISO 10642 (parafusos com cabeça de embeber). No entanto, verificou-se que a chapa não tinha espessura suficiente para suportar estes parafusos. Estes parafusos têm um chanfro que obriga a que dependendo do diâmetro roscado do parafuso, exista uma espessura mínima para a chapa ou placa que este vai suportar. Na Figura 53 pode-se ver qual o valor mínimo para a espessura, dependendo do diâmetro roscado necessário. Esse valor é dado pela letra “K”. Caso seja utilizada uma espessura igual ou inferior ao valor “K”, o parafuso não irá segurar a chapa na posição. O chanfro existente no parafuso iria roscar até bater na peça e não na chapa, como é pretendido. Neste caso, os parafusos necessários seriam M10 (como já referido) e, para isso, ter-se-ia que utilizar uma chapa com uma espessura de 6 mm. A utilização de uma chapa desta espessura não seria uma boa opção, tanto pelo custo, como pelo peso elevado.

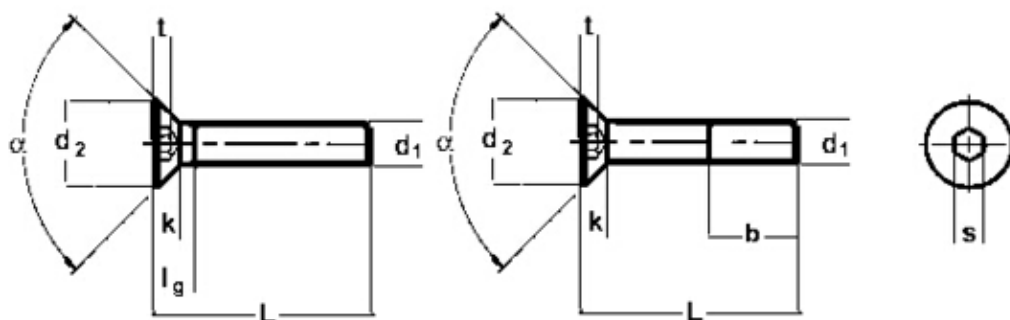
Para contornar este problema, foi equacionado projectar uma peça para fazer a ligação do tubo à chapa. Na Figura 54, pode-se ver a peça selecionada. Esta peça foi desenhada com o propósito de contornar o problema referido anteriormente.

Apesar de esta peça não desempenhar as mesmas funções que um mancal (pois não tem um rolamento na zona por onde passa o tubo), é compatível com a função pretendida.

Esta peça terá dois furos roscados M6, de forma a segurar o tubo à peça por esmagamento e, na zona superior, terá quatro furos M4 que irão ligar a peça à chapa, como se pode ver na Figura 55. A seleção dos furos M4 prende-se com a espessura da chapa, pois, como anteriormente foi visto, existe uma espessura mínima da chapa. No caso dos parafusos M4 a espessura mínima é de 2,3 mm. Neste caso, a chapa irá então ter 3 mm. É sabido que a espessura máxima que tinha sido definida seria de 3 mm, o que vai de encontro ao pretendido.

Apesar disto, e após uma troca de ideias com o Eng. Mário Cardoso, surgiu a hipótese de a chapa de seleção ter apenas 1,5 mm. Assim, de forma a ser possível existir o

aperto entre a chapa e a peça de ligação do tubo, a chapa e os furos roscados dessa peça, passaram a ser chanfrados como se pode ver na Figura 56. Com esta alteração, foi possível assim utilizar parafusos do tipo ISO 10642 M4 com uma chapa de espessura de 1,5 mm. Na Figura 55 pode-se ver que o aperto é conseguido com esta técnica.



DIN 7991 (ISO 10642 - NEN 2359)

Hexagon socket countersunk head screw

d_1	d_2	$b_{L \leq 125}$	$b_{L > 125}$	$b_{L > 200}$	k_{max}	s	t	α	$L \leq 1)$	$l_{g, max} 1)$
M 2	4	-	-	-	1.2	1.25	-	90°	12	-
M 2.5	5	-	-	-	1.5	1.5	-	90°	16	-
M 3	6	12	-	-	1.7	2	1.2	90°	30	3.2
M 4	8	14	-	-	2.3	2.5	1.8	90°	30	4.4
M 5	10	16	-	-	2.8	3	2.3	90°	35	5.2
M 6	12	18	24	-	3.3	4	2.5	90°	40	6.3
M 8	16	22	28	-	4.4	5	3.5	90°	45	8.2
M 10	20	26	32	45	5.5	6	4.4	90°	55	10
M 12	24	30	36	49	6.5	8	4.6	90°	60	11.8
M 14	27	34	40	-	7	10	4.8	90°	65	13
M 16	30	38	44	57	7.5	10	5.3	90°	70	13.5
M 18	33	42	-	-	8	12	-	90°	60	-
M 20	36	46	52	65	8.5	12	5.9	90°	90	16
M 22	36	-	-	-	13.1	14	-	-	-	-
M 24	39	54	60	-	14	14	10.3	60°	90	23

Figura 53 - Tabela de parafusos da norma ISO 10642 [59]

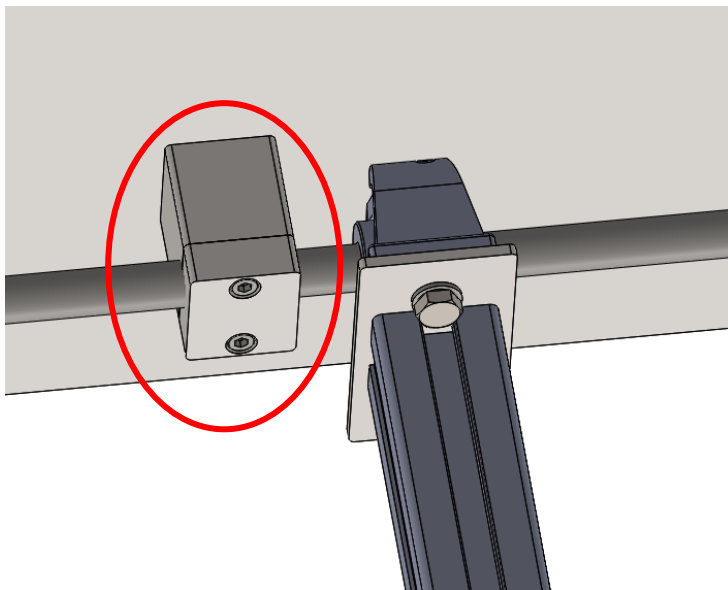


Figura 54 - Peça de ligação do tubo à chapa

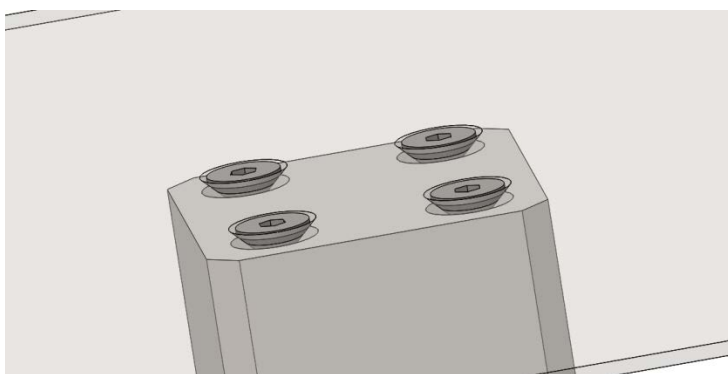


Figura 55 - Aperto dos parafusos

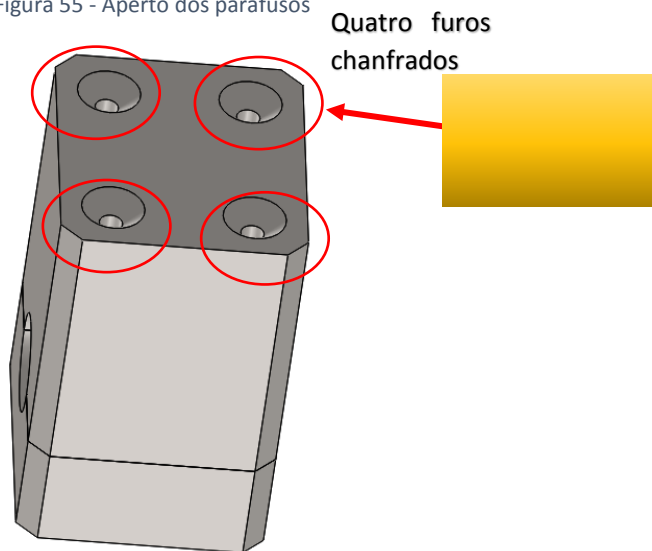


Figura 56 - União Chapa tubo

Na Figura 52, podemos verificar que existem cinco suportes para este sistema. Contudo, inicialmente foi idealizada a utilização de três suportes, como se pode ver na Figura 57. A utilização de apenas três suportes estava relacionada com o facto de ser utilizada uma chapa de 3 mm. Após uma análise estática, concluiu-se que a deformação máxima seria de 3 mm no caso da utilização de três suportes.

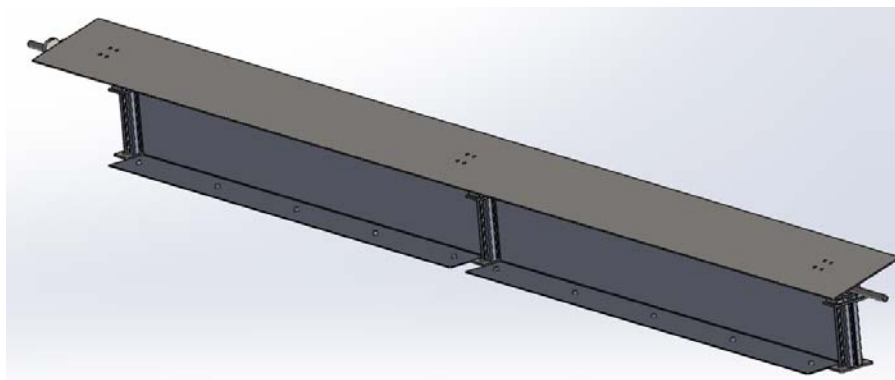


Figura 57 - Sistema de seleção de cabos com três suportes

Como referido anteriormente, a chapa selecionada tem a espessura de 1,5 mm, por apresentar menores custos e uma montagem mais simples. Por esse motivo, foi necessário voltar à utilização de cinco suportes. Na Figura 58 pode-se ver a utilização dos cinco suportes.

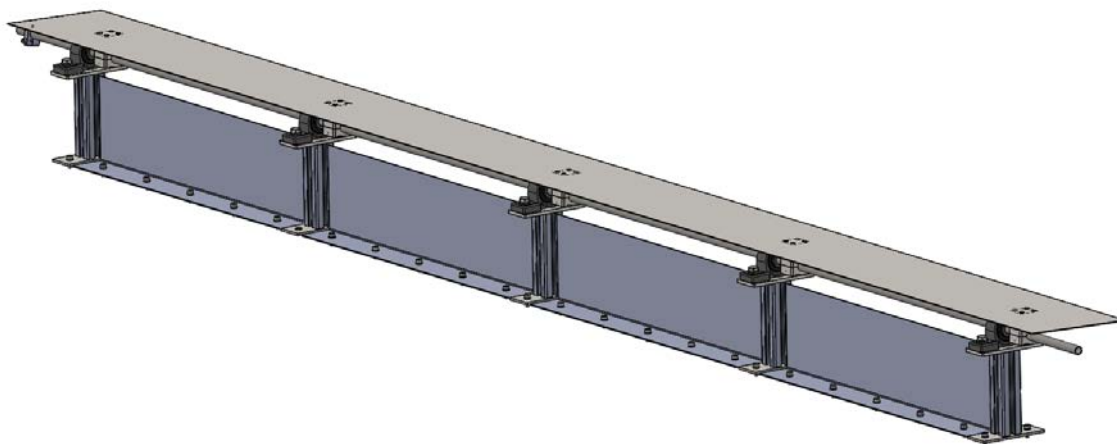


Figura 58 - Sistema completo

No caso da utilização de cinco suportes e a chapa ser de 1,5 mm de espessura, a deformação da mesma era de 0,9 mm. Apesar deste valor já ser aceitável, a chapa foi ligeiramente alterada tendo sido criadas abas laterais, como se pode ver na Figura 59, onde pode ser observada a criação dessas abas.

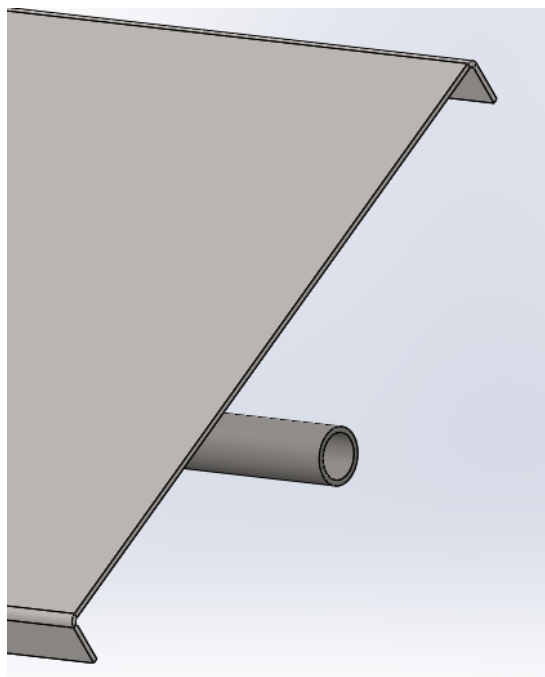


Figura 59 - Abas da chapa

Ainda em relação a este sistema, é importante referir de que forma será feita a rotação da chapa. O sistema responsável por este movimento será um cilindro pneumático que estará na parte traseira da chapa. Na Figura 60 pode-se verificar a peça que irá fazer a ligação entre o cilindro e o tubo do sistema.

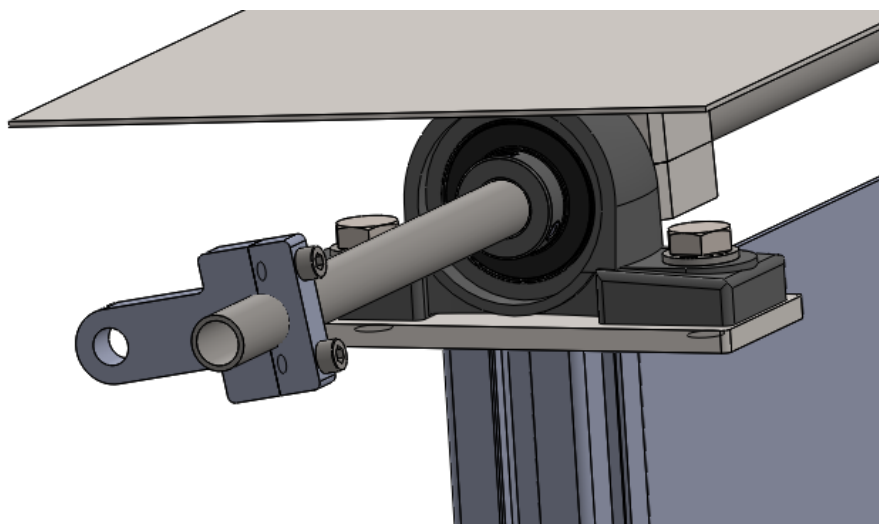


Figura 60 - Peça de ligação do cilindro ao tubo

Esta peça é constituída por duas partes, cuja união aparafusada irá bloquear a sua rotação em relação ao tubo, permitindo assim a transmissão do movimento de rotação.

Apesar disso esta peça teve que ser alterada, pois a mesma tinha uma espessura demasiado elevada para suportar o garfo que faria a ligação do cilindro à peça em causa. Foi então desenhada uma nova peça tendo em conta esta restrição de espessura, mas garantindo na mesma o esmagamento das duas peças no tubo de 15 mm. Na Figura 61, pode-se ver a peça final, que apresenta uma espessura de 10 mm na zona de ligação ao tubo e na zona do garfo do cilindro tem uma espessura de 6 mm, tal como é pretendido.

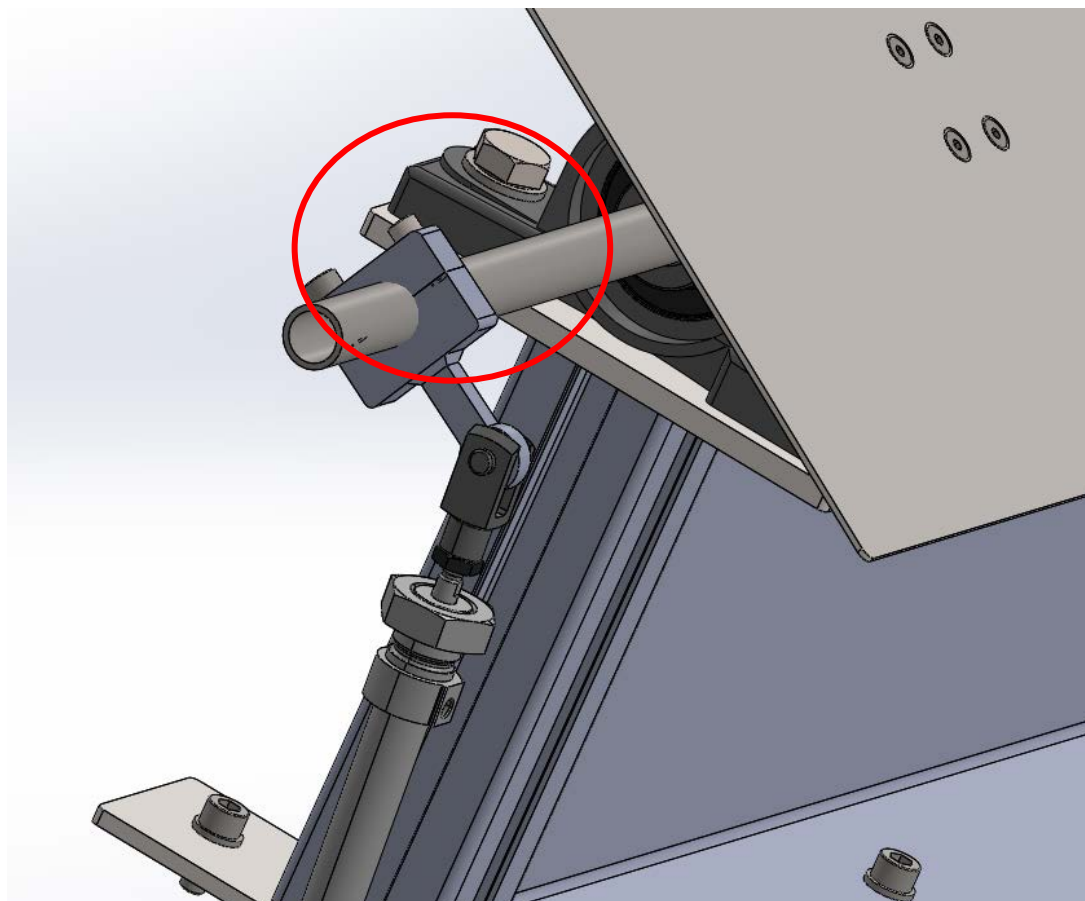


Figura 61 - Peça final de ligação do tubo ao cilindro

Para a rotação deste sistema, como referido anteriormente, será utilizado um cilindro pneumático. O cilindro selecionado apresenta a referência DSNU-12-40-P-A, e tem uma haste de diâmetro de 12 mm e um curso de 40 mm. Na Tabela 10, pode-se ver as principais características deste cilindro.

Tabela 10 - Principais características do cilindro pneumático DNSU-12-40-P-A [57]

Característica	Valores
Curso	40 mm
Pressão de funcionamento	1,5 a 10 bar
Temperatura de funcionamento	-20 a 80°C
Modo de operação	Dupla ação
Peso total	75 g
Guiamento	Não
Força de avanço com 6 bar	67,9 N
Força de retorno com 6 bar	5,9 N
Material	Alumínio
Deteção de posição	Por sensor

Como anteriormente referido, a ligação do cilindro à chapa é feita por um garfo com a referência SG-M6. Já a zona inferior do cilindro está suportada por um cavalete com a referência LBN-12/16.

Como se pode ver na Figura 57, foi colocada também uma pequena chapa quinada entre os apoios. Esta chapa tem a função de garantir a separação dos cabos produzidos de forma incorreta, dos restantes. Esta é uma chapa quinada com 1,5 mm de espessura, feita em CK45E que irá garantir essa separação. Na Figura 62 pode-se ver essa chapa.

Quando o equipamento foi montado no sistema final, verificou-se que esta chapa de separação de cabos não seria necessária. Como se pode verificar pela Figura 63, a separação dos cabos é conseguida por uma alteração feita no sistema de recolha de cabos. Os cabos, aquando da sua seleção, irão cair para o lado esquerdo ou para o lado direito. Esta seleção é feita por um laser, que está incorporado na máquina de injeção de Zamak. Este feixe consegue assim enviar um sinal ao equipamento, para este saber de que forma se deve posicionar quando o cabo for solto das agarras. Na Figura 63 e na Figura 64, pode-se ver que o espaço de recolha do lado direito é claramente mais pequeno que o do lado esquerdo, no que toca à sua capacidade. Assim, o lado direito será utilizado para receber os cabos com defeito, enquanto o lado esquerdo irá

receber os cabos conformes. Esta funcionalidade foi conseguida com o desenho de uma nova chapa de depósito de cabos.

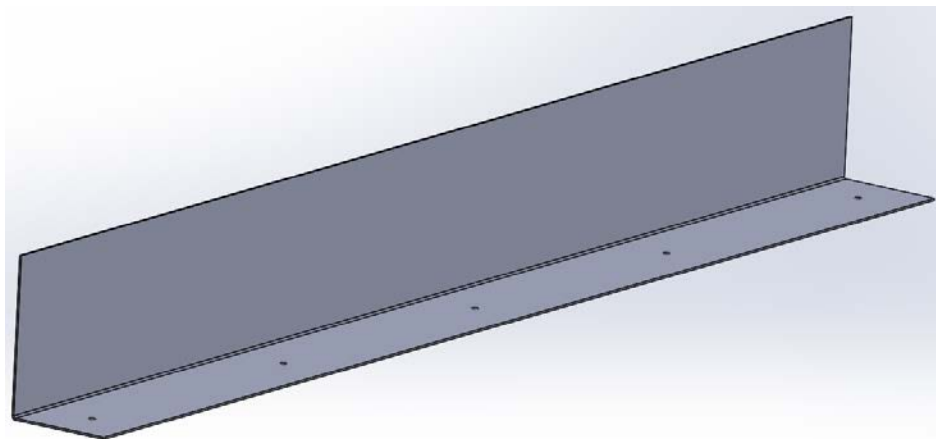


Figura 62 - Chapa de separação de cabos

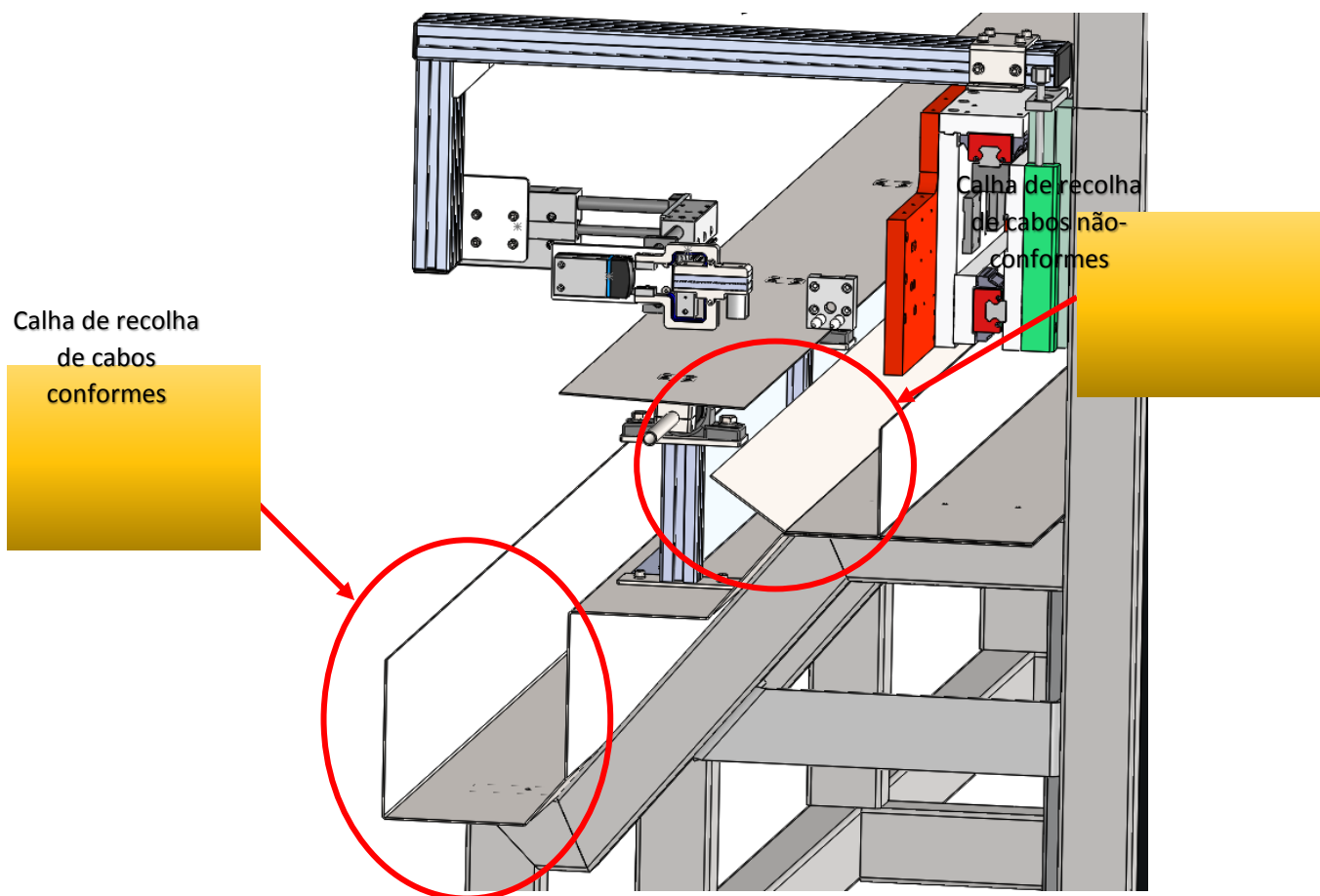


Figura 63 - Montagem final

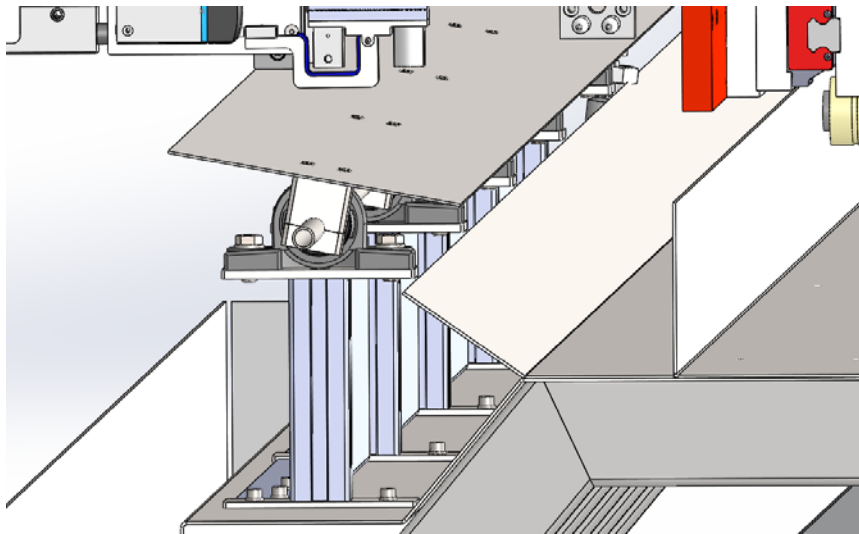


Figura 64 - Chapa de separação

Para a alteração desta secção da máquina, foram necessárias a criação de três chapas. A primeira será a chapa que suporta todo o sistema de seleção, a segunda será a chapa que protege a esteira da máquina e a terceira a que separa os cabos não-conformes dos restantes. Todas estas chapas têm 2 mm de espessura e estão montadas ao longo de toda a estrutura da máquina. Na Figura 65, pode-se ver essas três chapas.

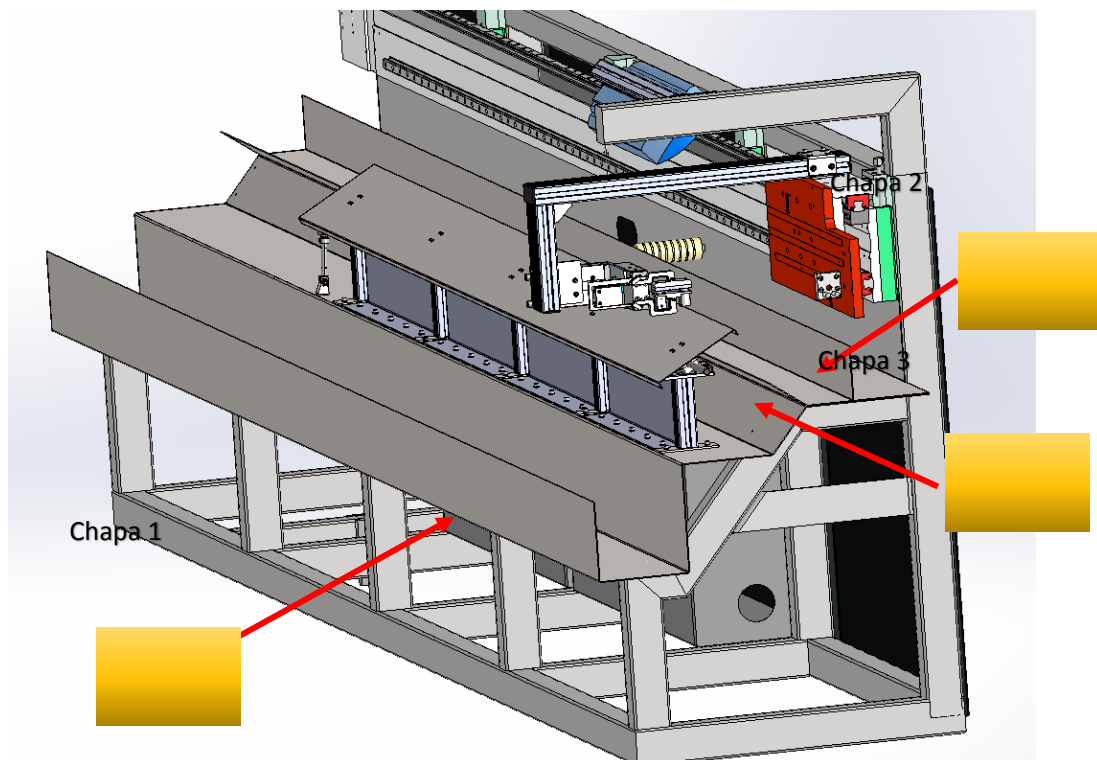


Figura 65 - Chapas de suporte do sistema de seleção

3.7 Projeto mecânico e dimensionamento

Em relação aos materiais utilizados, procurou-se utilizar os mesmos que já eram utilizados na máquina. Para as peças maquinadas o aço utilizado será o CK45E e em relação às chapas o S235 JR. Em relação ao alumínio, o utilizado na empresa e na máquina é o AA 5083. Na Tabela 11 pode-se ver as propriedades mecânicas destes materiais. Após o estudo destes materiais, verificou-se que estes respeitavam as necessidades do equipamento. Assim, estes foram os materiais utilizados para as peças desenhadas [60-62].

Tabela 11 - Tabela de propriedades mecânicas dos aços CK 45, S235 J e Al5083 [60-62]

Designação	Unidades	CK45E	S235JR	AA5083
Tensão de rotura	MPa	700	360	317
Tensão limite elástico	MPa	490	235	228
Extensão após rotura	%	14	26	16
Dureza	Escala de Brinell [HB]	100	104	85
Módulo de elasticidade	GPa	200	200	71,7
Massa específica	kg/m ³	7840	7800	2660
Temperatura de fusão	°C	850-1100	725-863	591-638
Coeficiente de expansão térmico	m/mK	12,3x10 ⁻⁶	12,3x10 ⁻⁶	25x10 ⁻⁶

3.7.1 Sistema de guiamento

Para o sistema de guiamento, foram dimensionadas as seguintes peças:

- Suporte do sistema de guiamento;
- Agarra dos cabos;
- Chapas dos suportes dos cilindros.

Como referido anteriormente, a agarra frontal irá prender o cabo na terceira etapa da injeção de Zamak (corte dos jitos). Verifica-se que, desde a primeira etapa da injeção até à última, existe uma distância de 174 mm. Na Figura 66 podemos verificar essas distâncias.



Figura 66 – Distâncias (em mm) entre as três fases do processo de injeção de Zamak

No desenho CAD (*Computer Aided Design*) existia como ponto de referência a posição onde seria feita a entrega flor Figura 66. Outra referência existente seria a posição do carro de alimentação de cabo. Foi também decidido que o equipamento de guiamento seria suportado por esse carro e seria fixo na zona superior do mesmo. Na Figura 67 pode-se ver o desenho que foi disponibilizado inicialmente.

A posição do carro de alimentação tinha uma importância fulcral, pois a posição do sistema de guiamento teria de se adaptar à posição deste. A estrutura desenhada em perfil técnico e as suas dimensões foram baseadas na posição deste.

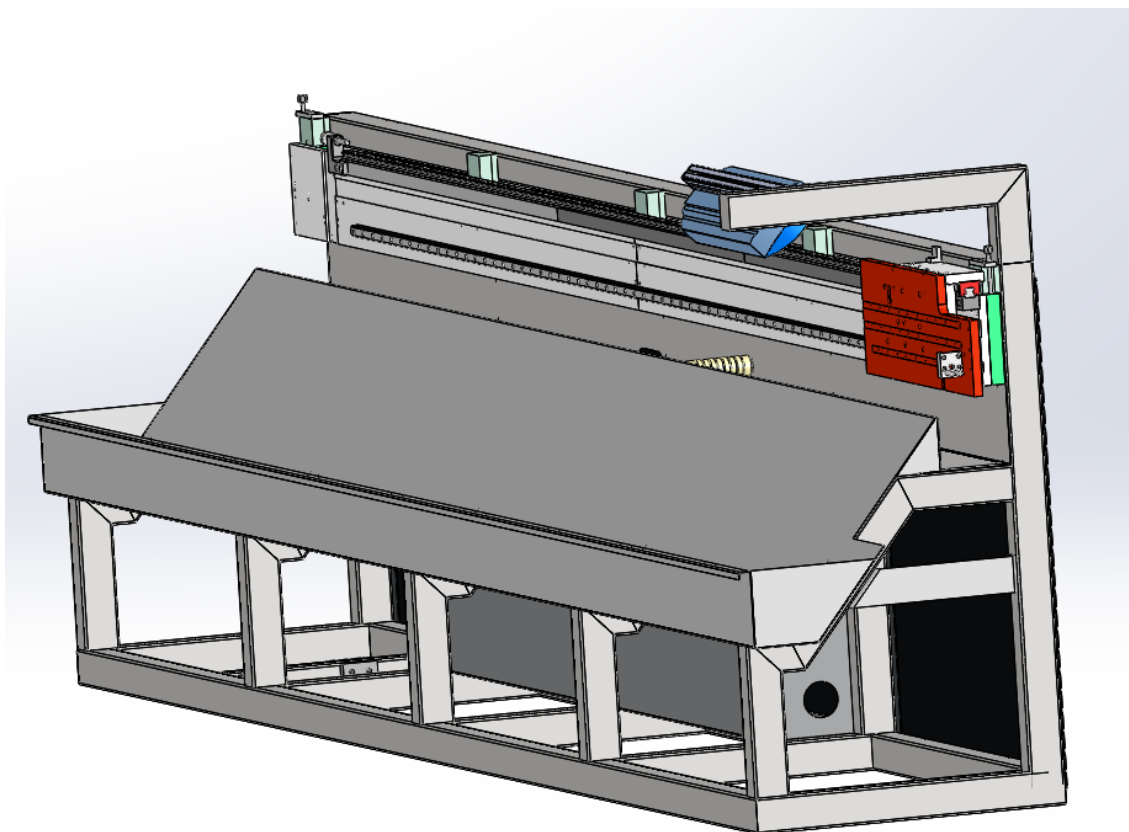


Figura 67 - Projeto CAD inicial

Através do desenho disponível, verificou-se as dimensões necessárias para que o perfil técnico respeite os pontos referidos na secção 3.6.4. Sendo eles:

- Agarrar o cabo na zona da flor;
- Garantir um bom dimensionamento estrutural;
- Capacidade de não interferir com equipamentos já instalados na máquina.

Para dimensionar o perfil técnico, os cilindros DFM (cilindros de avanço e recuo da agarra) foram colocados na posição de avançados porque, na agarra frontal, no momento de agarrar os cabos, os dois cilindros DFM estão também na posição avançada.

Para o suporte do sistema de guiamento foram equacionadas quatro hipóteses para o perfil técnico a utilizar, como referido no secção 3.6, (Anteprojecto da ideia seleccionada).

Analizou-se então quais seriam as dimensões que este teria que ter, para estar alinhado com a agarra que se encontra na zona frontal do equipamento. As dimensões utilizadas foram as apresentadas no anexo 6.4.

Por forma a compreender todos os componentes utilizados neste equipamento, é mostrada, na Figura 68, uma imagem com o sistema de guiamento completo. As referências assinaladas na Figura 68 estão em consonância com as referências da

Tabela 12. Na tabela apresenta-se a designação, o material e a quantidade de peças necessárias para o sistema. Desta forma, pode-se facilmente compreender todos os componentes utilizados e entender o seu posicionamento.

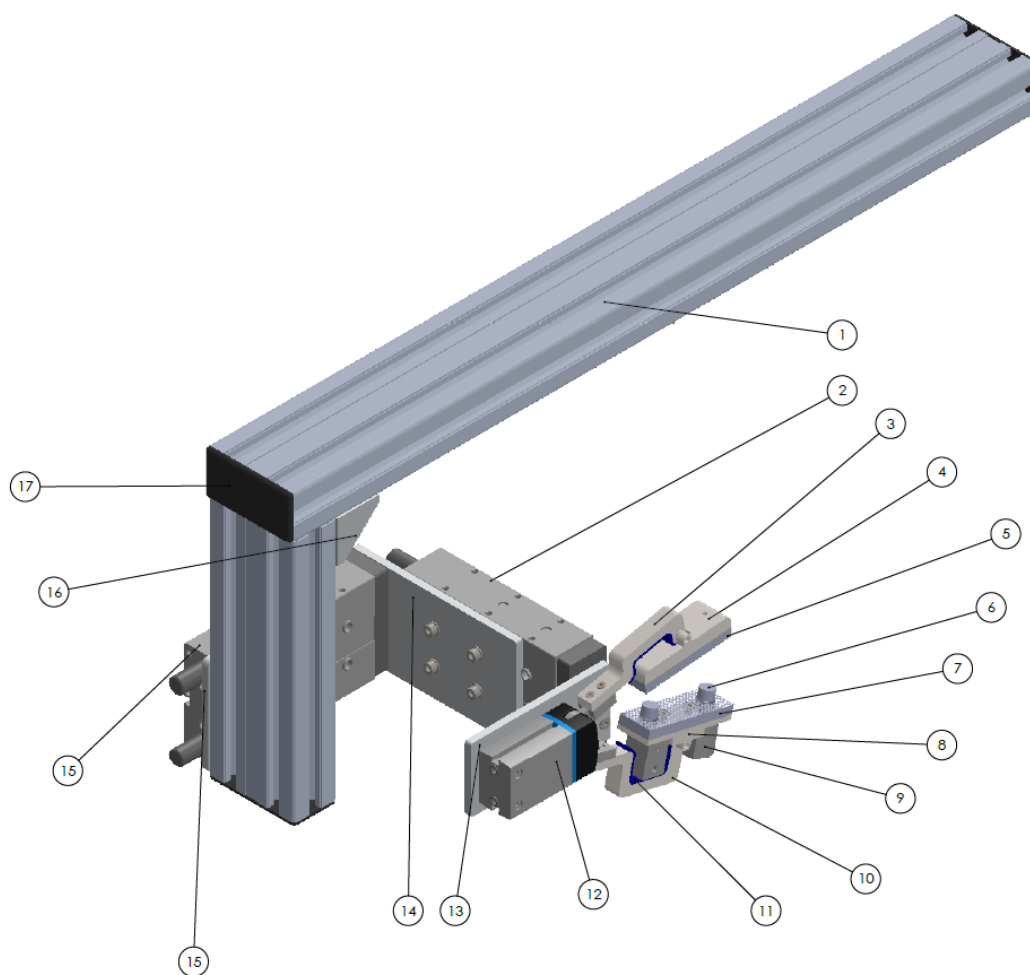
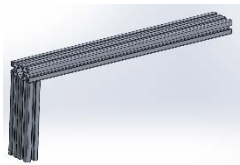
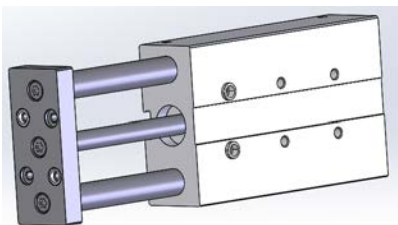
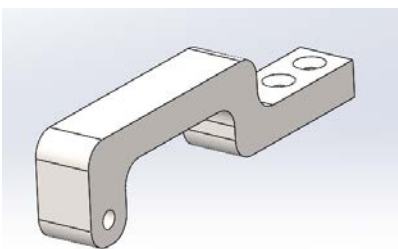
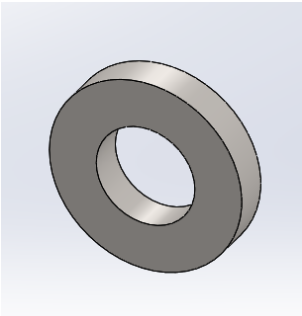
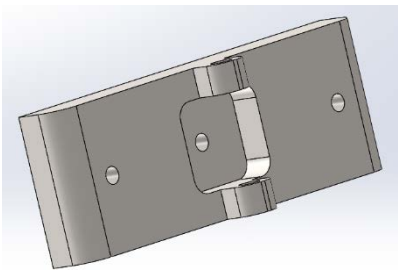


Figura 68 - Estrutura completa do sistema de guiamento

Tabela 12 - Componentes do sistema de guiamento

Número	Designação	Imagem	Material	Quantidade
1	Perfil de alumínio		Alumínio (AA6060)	1
2	Cilindro		Alumínio	2
3	Ligação agarra suporte superior		CK45E	1
4	Casquilho		Aço temperado (HRC 62 ±2)	4
5	Suporte superior		CK45E	1

6	Suporte em nylon superior		Poliamida (PA 6.6)	1
7	Batente		Poliamida (PA 6.6)	2
8	Suporte em nylon inferior		Poliamida (PA 6.6)	1
9	Suporte inferior		CK45E	1
10	Cilindro ADVC		Alumínio	2

11	Ligação agarra suporte inferior		CK45E	1
12	Fita de poliamida		Poliamida (PA 6.6)	2
13	Agarra		Alumínio	1
14	Chapa de suporte da agarra		S235 JR	1
15	Chapa de suporte cilindro 2		S235 JR	1

16	Chapa de suporte cilindro 1		S235 JR	1
17	Esquadro		Zinco	1
18	Tampa para perfil técnico		Polipropileno	1

Para ser possível decidir qual o tipo de perfil técnico a ser utilizado, foi feita uma análise de elementos finitos. Para realizar este estudo, foram considerados os pesos dos cilindros DFM, onde o êmbolo estaria na posição de avançado, enquanto a agarra estaria fechada. Em relação à agarra, o peso considerado incluía também os dois cilindros ADVC e todo o restante equipamento.

Para realizar este estudo foram definidos os parâmetros, na Figura 69, podemos ver os valores utilizados para a malha da estrutura, os elementos escolhidos foram elementos sólidos do tipo tridimensionais. Já na Figura 70, é possível verificar o aspeto da malha a utilizar. Neste estudo, foi utilizada uma funcionalidade com o nome “*remote load*”, esta funcionalidade permitiu colocar as cargas (peso dos cilindros e restantes elementos) numa posição onde não existe contacto físico com a peça. Desta forma permitiu que a análise fosse feita para o pior caso, onde os êmbolos dos cilindros estariam na posição de avançados.

Na Figura 71 pode-se ver as posições onde foram aplicadas as forças (neste caso o peso dos cilindros). Pode-se verificar no anexo 6.1 que o peso dos cilindros DFM é de 1,595 kg. Neste caso, aplicou-se a força de 15,950 N e para a agarra, a força aplicada foi também de 15,950 N. Apesar do peso da agarra ser inferior a este valor, com o restante equipamento o peso total seria aproximadamente de 1,500 kg. Com estas

forças envolvidas pode-se ver pela Figura 72, que o valor de tensão máxima será de 12,640 MPa.

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	15.5315 mm
Tolerance	0.776575 mm
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

Mesh information - Details

Total Nodes	80214
Total Elements	42384
Maximum Aspect Ratio	165.05

Figura 69 - Parâmetros da malha de cálculo utilizada na simulação do sistema de guiamento

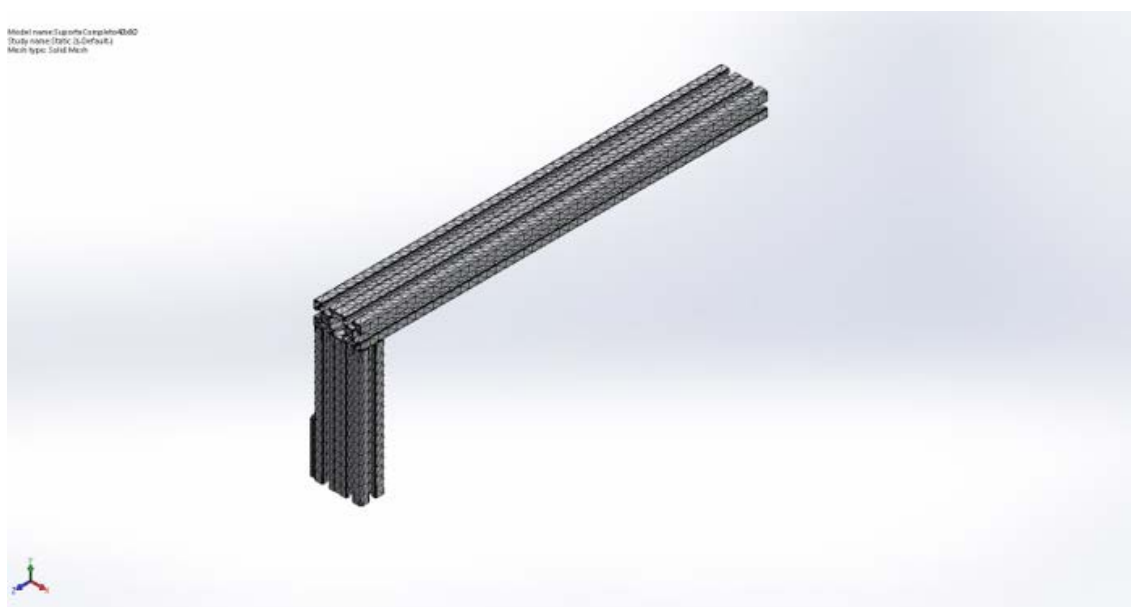
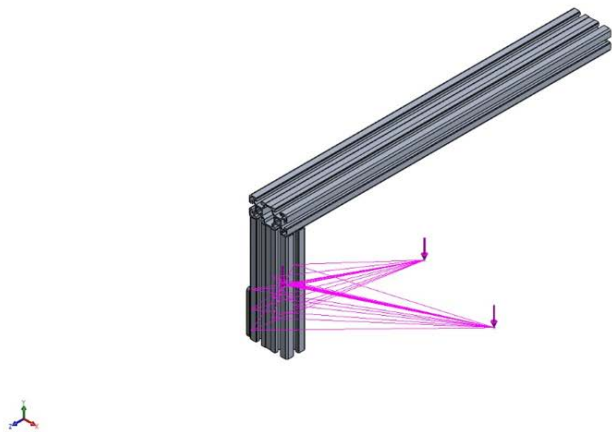


Figura 70 - Aspeto da malha utilizada para o cálculo do sistema de guiamento



Model name: SuporteCompleto40x80
Current Configuration: Default

Figura 71 - Zonas de aplicação das forças

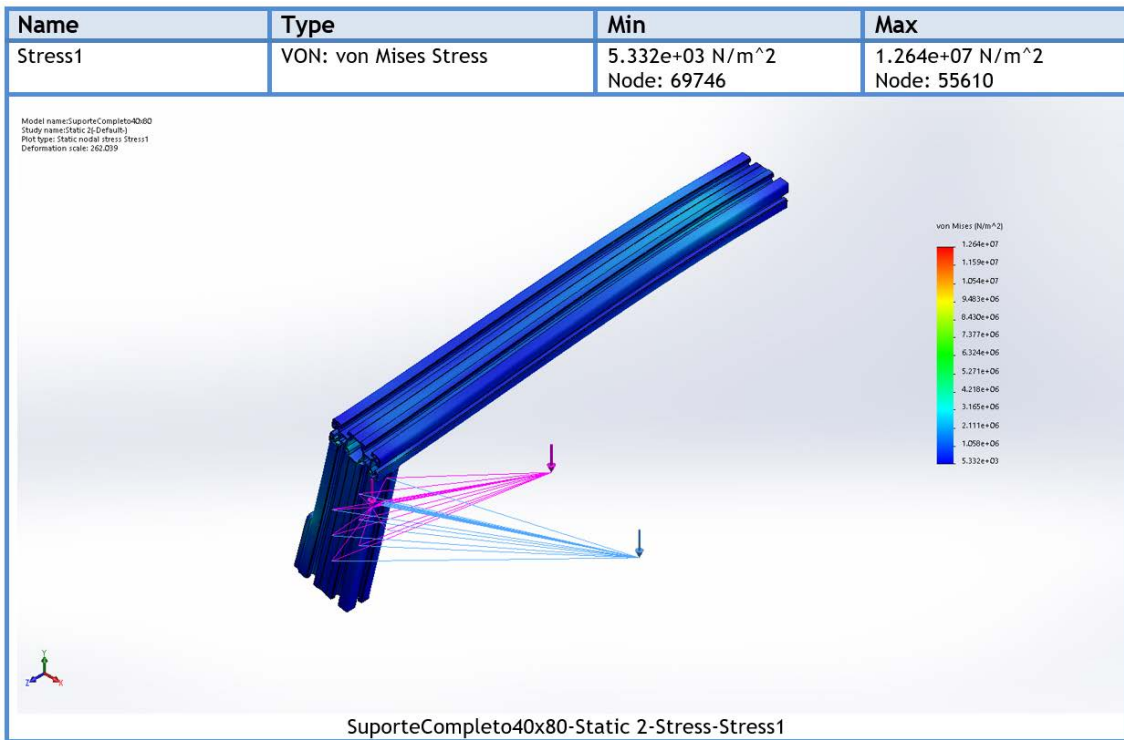


Figura 72 - Análise da tensão máxima através de elementos finitos

Em relação ao deslocamento máximo, a análise de elementos finitos também permitiu concluir que o valor seria de 0,3 mm, como se pode ver na Figura 73, um valor considerado admissível para a estrutura.

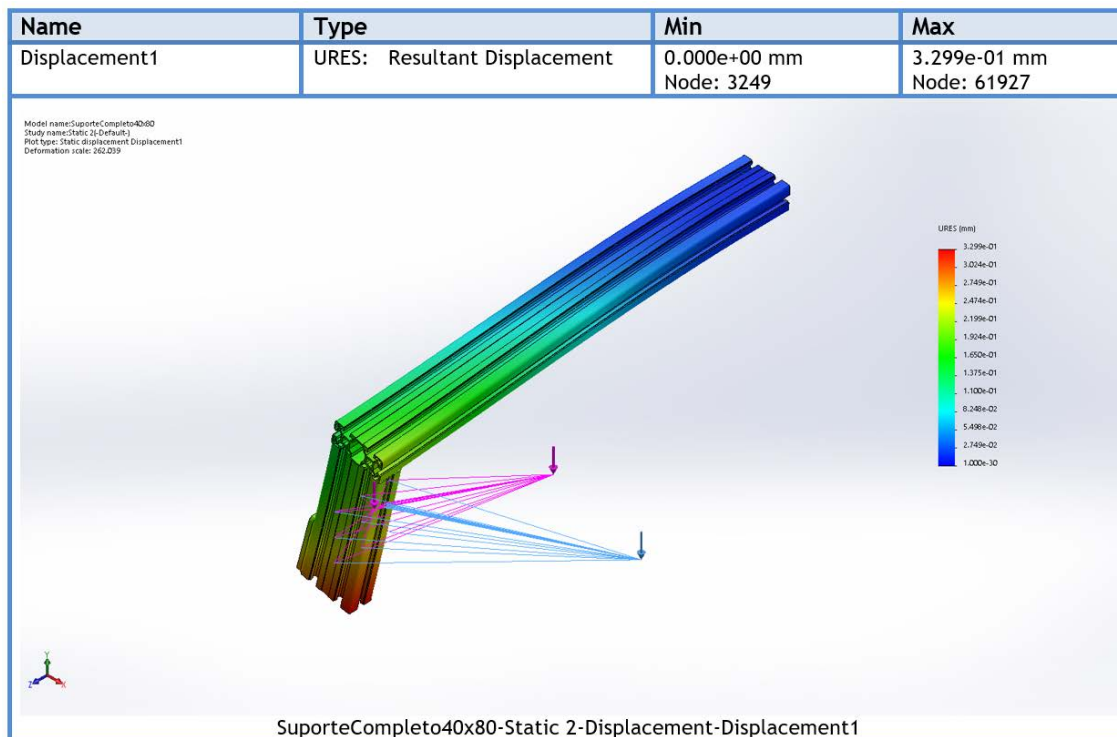


Figura 73 - Análise do deslocamento máximo através de elementos finitos

Após ser efetuada a análise estática ao equipamento, procedeu-se à análise dinâmica. Para efetuar esse estudo, era necessário conhecer quais as velocidades e acelerações do carro de alimentação. Para obter estes resultados, é necessário saber qual a referência do motor, assim como da caixa redutora e da polia, que iria fazer a movimentação da correia, a qual, por sua vez, movimenta o carro. A referência do motor é BMH070216A1A da marca Schneider. No anexo 6.2 pode-se ver o “datasheet” do motor, em que a velocidade máxima é de 8000 rpm. Em relação ao redutor, a referência é GBX060005K, também da marca Schneider. Tem uma redução de 5:1, o que mais à frente irá ter interesse para os cálculos apresentados. No anexo 6.2, pode-se verificar o valor de redução. Já em relação à polia, é de passo métrico T10 (a9-40t10-14f), o que implica um diâmetro de 44,56 mm na zona medida de colocação da correia [63]. Com estes dados, é possível calcular a velocidade da seguinte forma:

Velocidade máxima do motor: 8000 rpm

$$V = WR \quad (1)$$

V – Velocidade linear;

W – Velocidade angular;

R – Raio.

Visto que se utiliza uma caixa redutora é necessário primeiro realizar a conversão da velocidade do motor. Pelo “datasheet” da caixa redutor sabe-se que a conversão é de 5:1, o que leva a que a velocidade angular final seja de:

$$W_f = \frac{8000}{5} = 1600 \text{ rpm} \quad (2)$$

W_f – Velocidade angular final

Convertendo a velocidade do motor para rad/s:

$$\begin{aligned} V &= 1600 \times \frac{2\pi}{60} = 1600 \times 0,10467 = \\ &= 167,467 \text{ rad/s} \end{aligned} \quad (3)$$

Assim:

$$V = 2,79 \times \frac{0,04456}{2} = 3,7 \text{ m/s} \quad (4)$$

Visto não existir em dados para determinar o valor da aceleração, considerou-se:

$$a = 2 \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

a - Aceleração

Com os cálculos apresentados, pode-se concluir que a velocidade linear do carro de alimentação é de 2 m/s. Para a realização da análise dinâmica do sistema considerar-se-á que a aceleração é de 2 m/s², pois não existe nenhuma referência à mesma no “datasheet” do equipamento.

Aplicando a segunda lei de Newton:

$$F = m \times a \quad (6)$$

F – Força

m – Massa

Para o dimensionamento da carga nos cilindros DFM:

$$F = 15,95 \times 2 = 31,9 \text{ N} \quad (7)$$

No dimensionamento, considerou-se por bem arredondar este valor para 32 N. Apesar de ser um valor diferente do real a diferença era pequena e não traria diferenças significativas no valor final.

Já no caso da agarra, o valor utilizado para o cálculo foi de:

$$F = 15 \times 2 = 30 \text{ N} \quad (8)$$

Para iniciar a análise dinâmica definimos a zona de suporte (a verde) da estrutura a qual se pode verificar na Figura 74. Posteriormente foi definido os parâmetros que a malha iria ter, estes valores estão representados na Figura 75, os elementos escolhidos para esta análise, foram elementos sólidos do tipo tridimensionais. Já na Figura 76, é possível verificar o aspeto da malha.

Para esta análise os valores utilizados para a análise estão descritos na Figura 77.

Na Figura 78, pode-se verificar os valores obtidos após a análise de elementos finitos. Pode-se verificar que o valor máximo obtido para a tensão é de 16,540 MPa.

Em relação ao deslocamento máximo, pode-se verificar pela Figura 79 que o valor se situa nos 0,5 mm, indo de encontro ao pretendido.

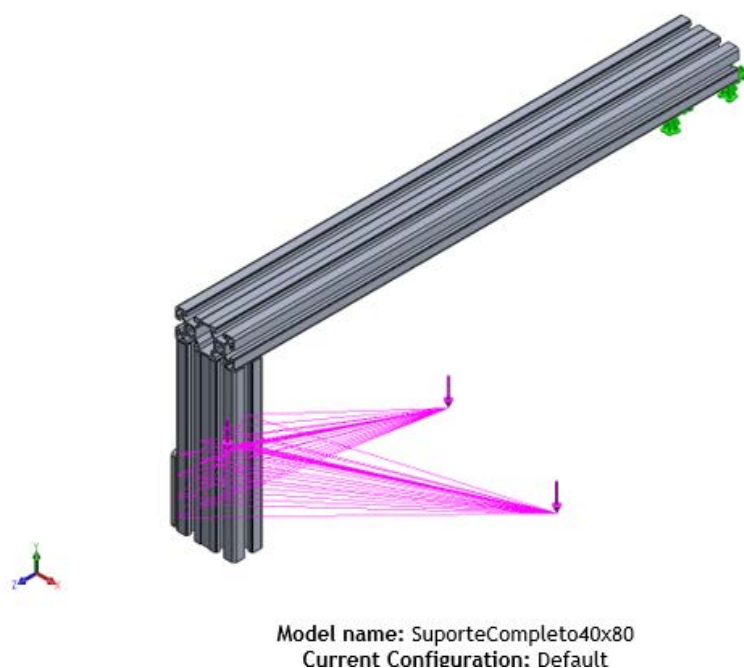


Figura 74 - Zona de fixação do sistema de guiamento

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	16.0455 mm
Tolerance	0.802274 mm
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

Mesh information - Details

Total Nodes	73418
Total Elements	38835
Maximum Aspect Ratio	84.915

Figura 75 - Parâmetros da malha de cálculo utilizada na simulação na análise dinâmica



Figura 76 - Aspeto da malha utilizada para o cálculo da análise dinâmica

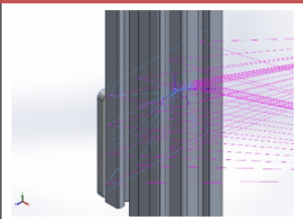
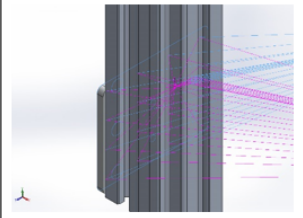
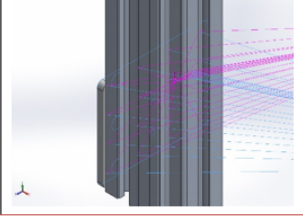
Load name	Load Image	Load Details
Remote Load (Direct transfer)-1		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Coordinate System1 Force Values: ---, -32, --- N Moment Values: ---, ---, --- N.m Reference coordinates: 0 0 0 mm Components transferred: Force
Remote Load (Direct transfer)-2		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Coordinate System2 Force Values: 32, ---, --- N Moment Values: ---, ---, --- N.m Reference coordinates: 0 0 0 mm Components transferred: Force
Remote Load (Direct transfer)-3		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Coordinate System3 Force Values: -30, ---, --- N Moment Values: ---, ---, --- N.m Reference coordinates: 0 0 0 mm Components transferred: Force

Figura 77 - Cargas aplicadas na estrutura para análise dinâmica

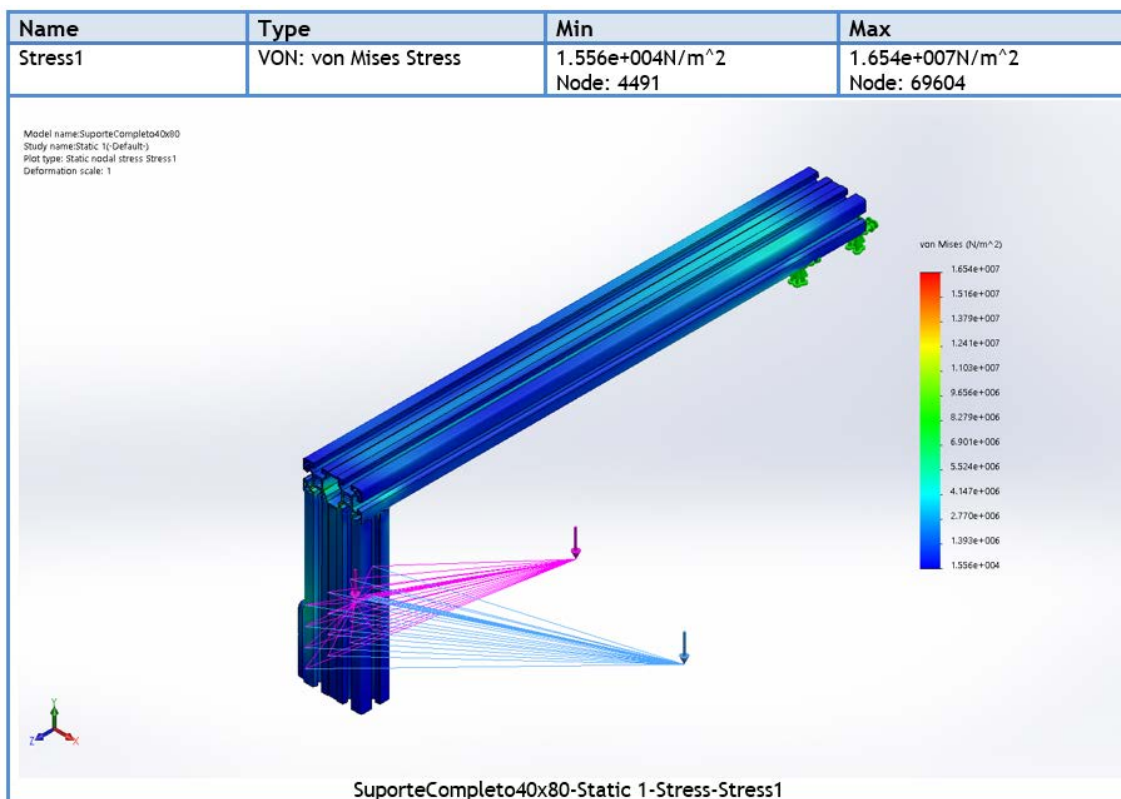


Figura 78 - Análise de von Mises dinâmica

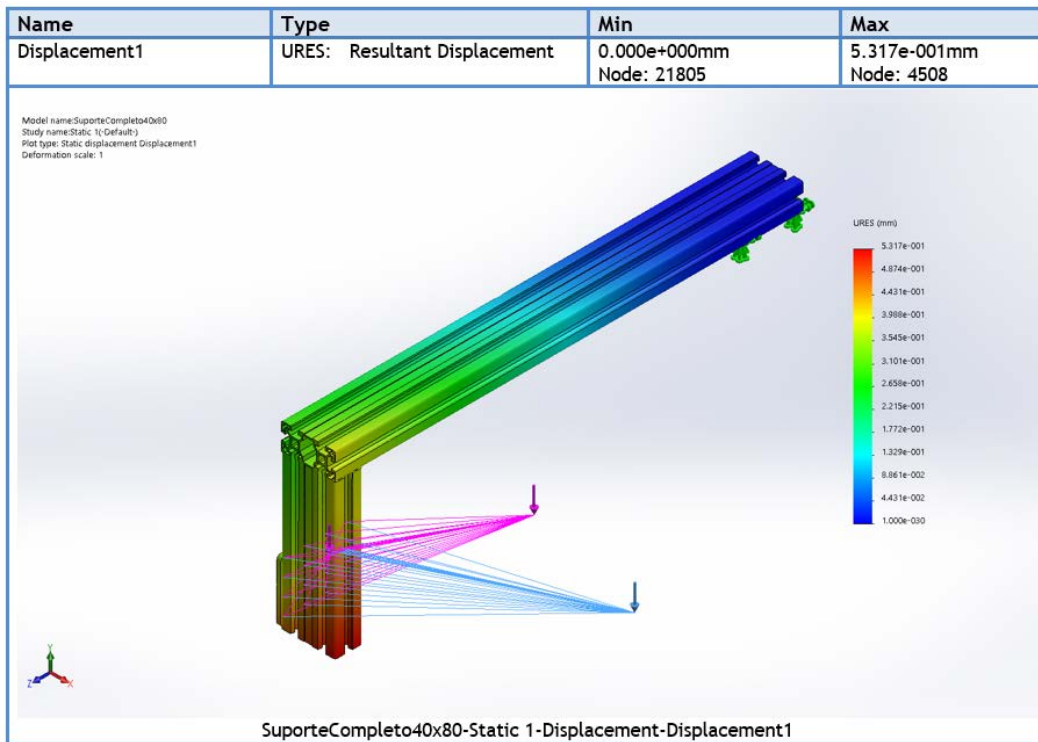


Figura 79 - Análise de deslocamento do estudo dinâmico

3.7.2 Sistema de seleção de cabos

Após o dimensionamento do sistema de guiamento de cabos, passou-se ao dimensionamento do sistema de seleção de cabos.

O primeiro passo para iniciar o dimensionamento deste sistema seria saber qual o comprimento que este teria. Visto que a máquina sobre a qual se vai inserir o sistema permite a produção de cabos até 3 m de comprimento, decidiu-se que este sistema teria esse comprimento.

Iniciou-se então o desenho da chapa que faria a seleção dos cabos. Como visto na secção 3.6.5, esta tem uma aba na zona lateral que permite que esta tenha uma menor flexão. Na Tabela 13, pode-se ver que o momento de inércia à flexão da chapa sem abas, é bastante inferior ao momento de inércia à flexão da chapa com abas. Este facto, leva a que a flexão da chapa com abas seja inferior.

Tabela 13 - Momentos de inércia à flexão de chapa com aba e sem aba

	Momento de Inércia I_x [mm ⁴]	Momento de Inércia I_y [mm ⁴]
Chapa com abas	$2,67 \times 10^3$	$1,38 \times 10^6$
Chapa sem abas	54,8	$9,2 \times 10^5$

Durante a análise de elementos finitos feita ao sistema, decidiu-se fazer a análise apenas à ação da gravidade sobre o sistema. Esta decisão prendeu-se com o facto do peso dos cabos (independentemente do tamanho) ser demasiado pequeno. Um cabo, no caso menos favorável (comprimento de 3 m), pesa algumas gramas. O facto de os cabos caírem sobre a chapa de forma aleatória (ainda que colocados de forma adequada), poderia levar a erros na análise.

Para iniciar esta análise foram definidos os pontos de fixação, os quais são possíveis verificar pela Figura 80. Logo de seguida foram definidos os parâmetros de malha assim com a geração da mesma o qual é possível verificar pela Figura 81 e Figura 82, respetivamente. Na Figura 83, pode-se verificar os valores da tensão máxima de von Mises. Este valor situou-se no valor máximo de $9,915 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Já no caso da Figura 84, pode-se verificar o deslocamento de 0,1 mm que a chapa irá sofrer entre apoios, por ação da gravidade.

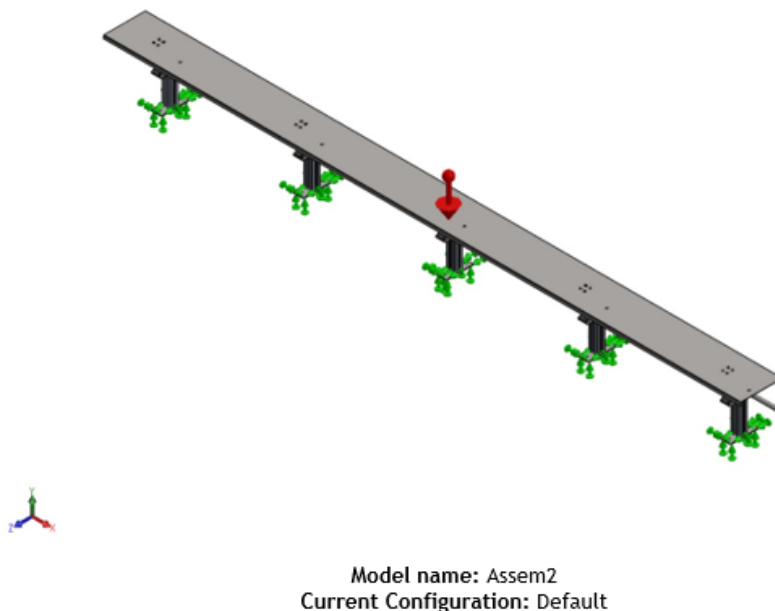


Figura 80 - Zona de fixação do sistema de seleção

Mesh information

Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Jacobian check for shell	On
Maximum element size	51.5293 mm
Minimum element size	10.3059 mm
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

Mesh information - Details

Total Nodes	166147
Total Elements	89865

Figura 81 - Parâmetros da malha de cálculo utilizada na simulação do sistema de seleção



Figura 82 - Aspeto da malha utilizada para o cálculo do sistema de seleção

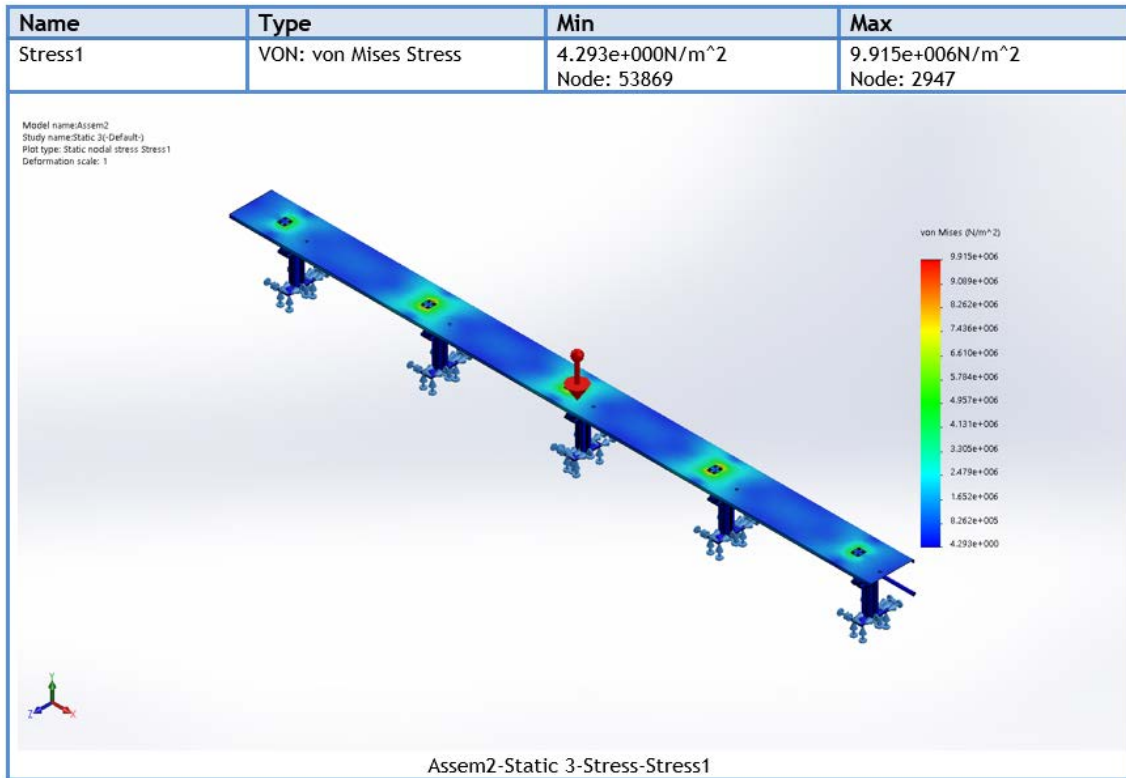


Figura 83 - Análise de elementos finitos: tensão de von Mises por ação da gravidade

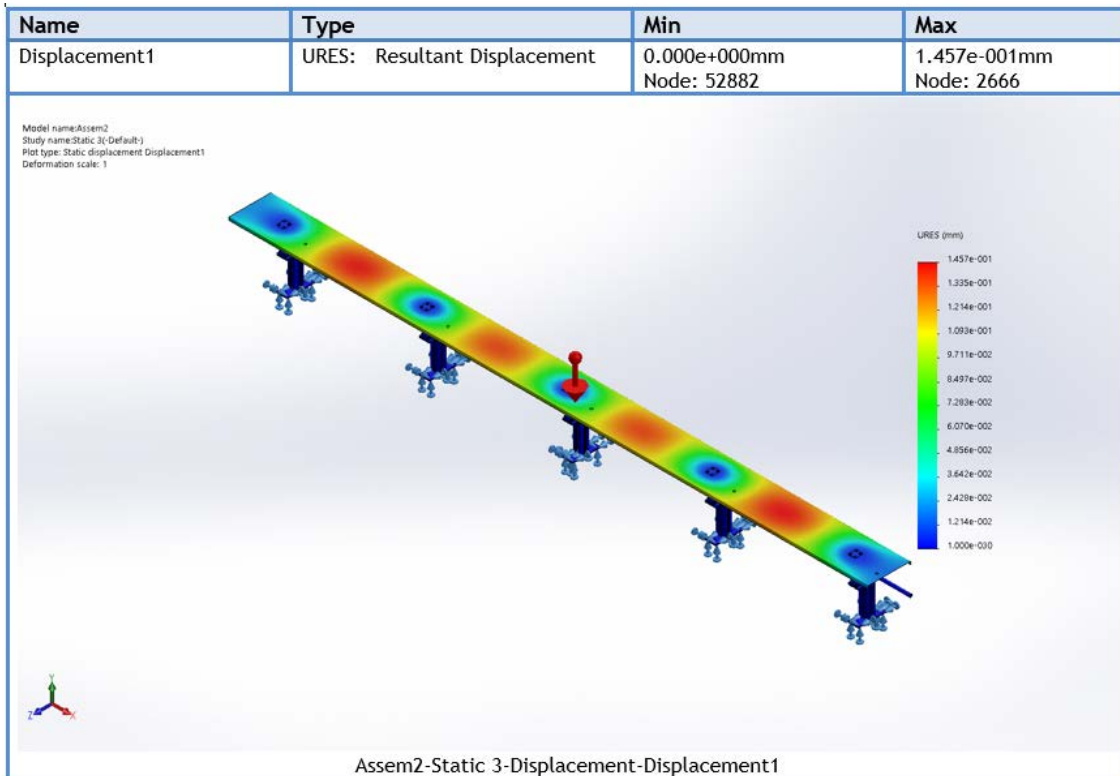


Figura 84 - Análise de elementos finitos: deslocamento por ação da gravidade

Com a chapa de seleção dimensionada, foi necessário verificar a que altura deveria ficar este equipamento. Para dimensionar estas peças, foi necessário montar o sistema na sua posição final, como se pode ver pela Figura 85. Como se pode ver na Figura 86, as peças que definem a altura do equipamento são os perfis 40x40 mm². A distância da queda do cabo até à chapa é de aproximadamente 409 mm (Figura 85), a qual se considera ser uma distância adequada. Esta distância tem especial interesse, pois caso esta fosse mais elevada, a queda poderia levar a que os cabos ficassem novamente entrelaçados. Estes perfis têm um comprimento de 150 mm, que garante um bom funcionamento do equipamento e permite que os cabos caiam na zona de recolha de forma ordenada.

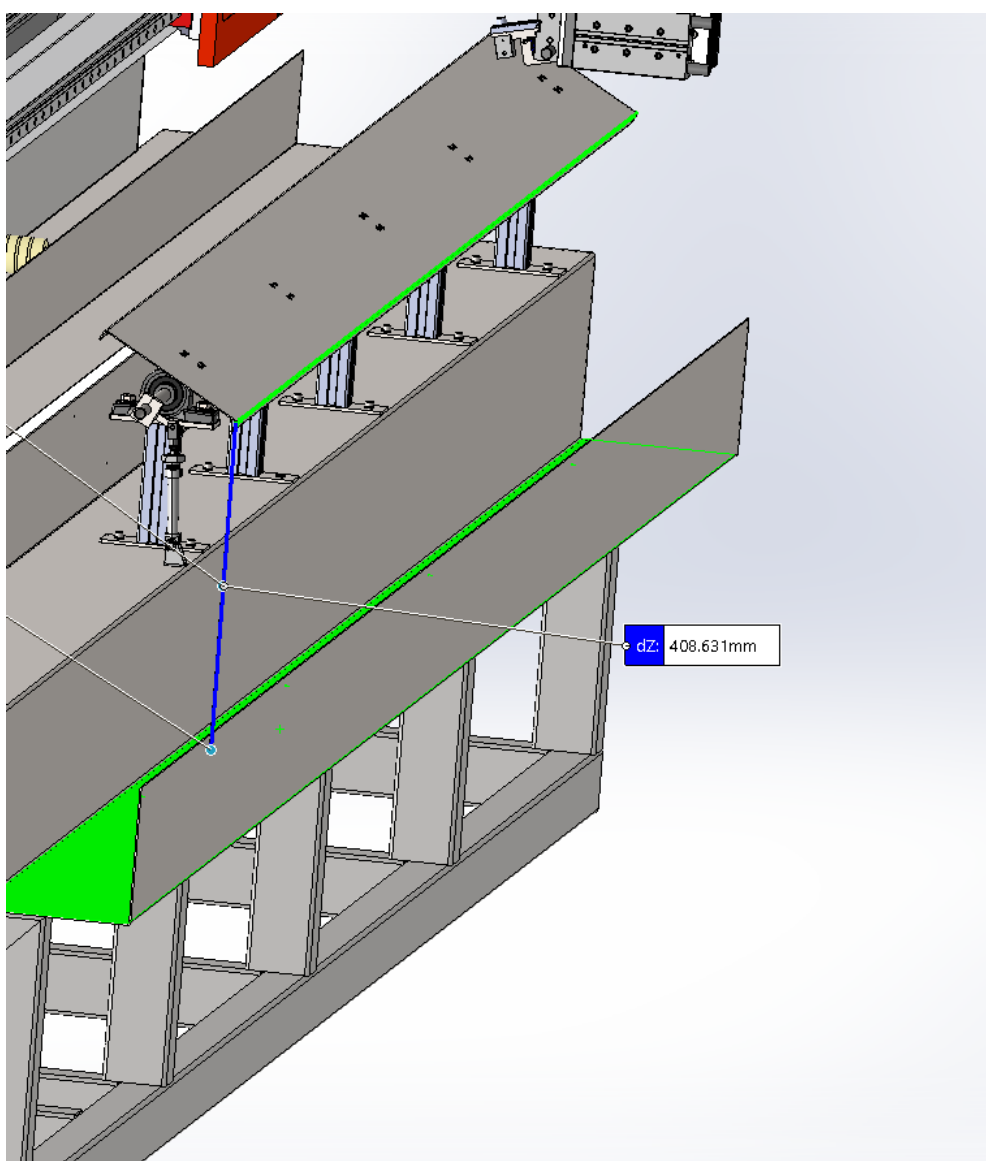


Figura 85 - Distância entra a chapa de seleção e recolha de cabos

Apesar de a chapa de suporte do equipamento ser também dimensionada neste estudo, pensou-se que esta chapa deverá apenas ajustar-se à estrutura da máquina e ter uma boa capacidade de acomodar os cabos. Com isto, pretende-se que a máquina fique a funcionar de forma autónoma durante o máximo tempo possível.

Em relação ao acionamento do equipamento, para além do dimensionamento do cilindro que está referido na secção 3.6.5, dimensionou-se também a peça que faz a ligação do cilindro, ao tubo do equipamento. Esta peça é constituída pela peça 2 e 3 da Tabela 14. A ligação destas duas peças é feita por dois parafusos M4x20 mm.

Para suportar o cilindro, pensou-se em utilizar uma peça do tipo “standard” de forma a reduzir ao máximo o custo em peças. Assim, e após uma breve pesquisa, decidiu-se utilizar o cavalete da marca Festo LBN-12/16. Esta peça já está dimensionada para o cilindro que irá ser utilizado.

Para dimensionar o garfo que será colocado na haste do cilindro procedeu-se de forma idêntica à do cavalete. Visto que esta peça é uma peça standard, decidiu-se utilizar o garfo SG-M6 da marca Festo. A utilização permite de forma eficaz transmitir movimento do cilindro à cunha, que irá transmitir o movimento ao tubo e este, por sua vez, à chapa de seleção.

De forma a compreender melhor todo o sistema na Figura 86, está representado a zona traseira do sistema com a respetiva legenda de todos os componentes na Tabela 14.

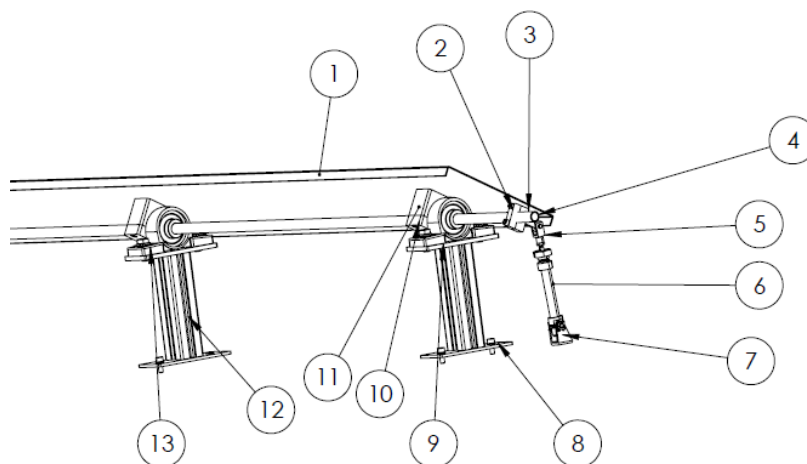


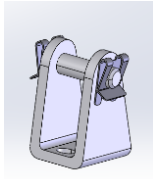
Figura 86 - Estrutura completa do sistema de seleção

Tabela 14 - Peças do equipamento de seleção

Número	Designação	Imagem	Material	Quantidade
1	Chapa Divisora		AISI 304L	1
2	Cunha 1		CK45E	1
3	Cunha 2		CK45E	1
4	Tubo		AISI 304	1
5	Garfo		Zinco	1
6	Cilindro		Alumínio	1

7

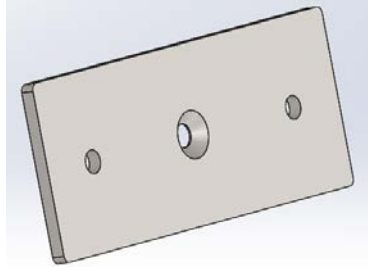
Cavalete



Zinco

1

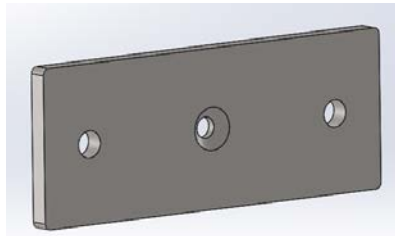
8

Chapa de
suporte
inferior

S235 JR

5

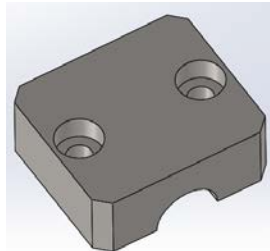
9

Chapa de
suporte
superior

S235 JR

5

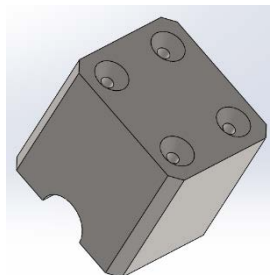
10

União
chapa tubo
1

CK45E

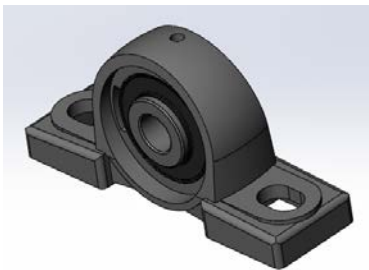
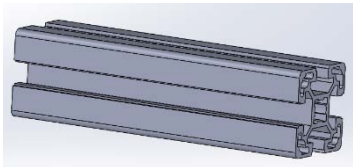
5

11

União
chapa tubo
2

CK45E

5

12	Chumaceira		Ferro fundido (GG20 DIN1691)	5
13	Perfil técnico		Alumínio	5

3.8 Projeto de automação

Neste capítulo, serão analisados os passos que a máquina faz atualmente, desde que suporta o cabo, até que o larga na zona de recolha. Na Figura 87, pode-se ver os passos realizados pelo equipamento antes da instalação do sistema de guiamento. Na Figura 88, pode-se ver os passos necessários com o sistema de guiamento. Verifica-se que são necessários mais passos com o sistema de guiamento incorporado. Contudo, todos os passos são automatizados. A realização destes passos é feita de forma autónoma e o tempo de ciclo não é afetado pelos mesmos. Foi desenhado também um esquema pneumático com os componentes que fazem parte do sistema de guiamento, de forma a compreender que tipo de válvulas seriam necessárias para o sistema. Este esquema pode ser visto na Figura 87.

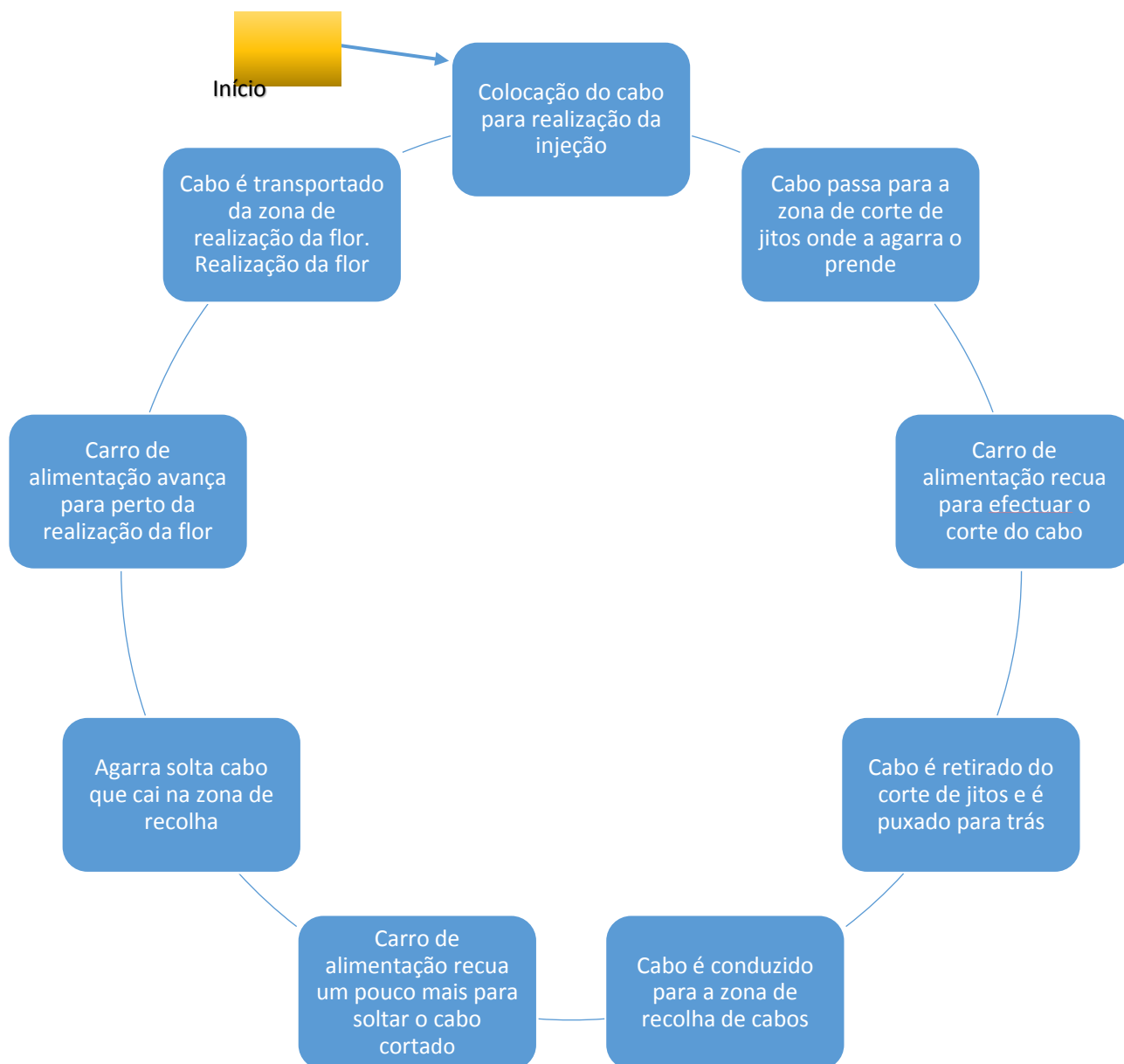


Figura 87 - Passos efetuados pela máquina aquando a chegada à empresa

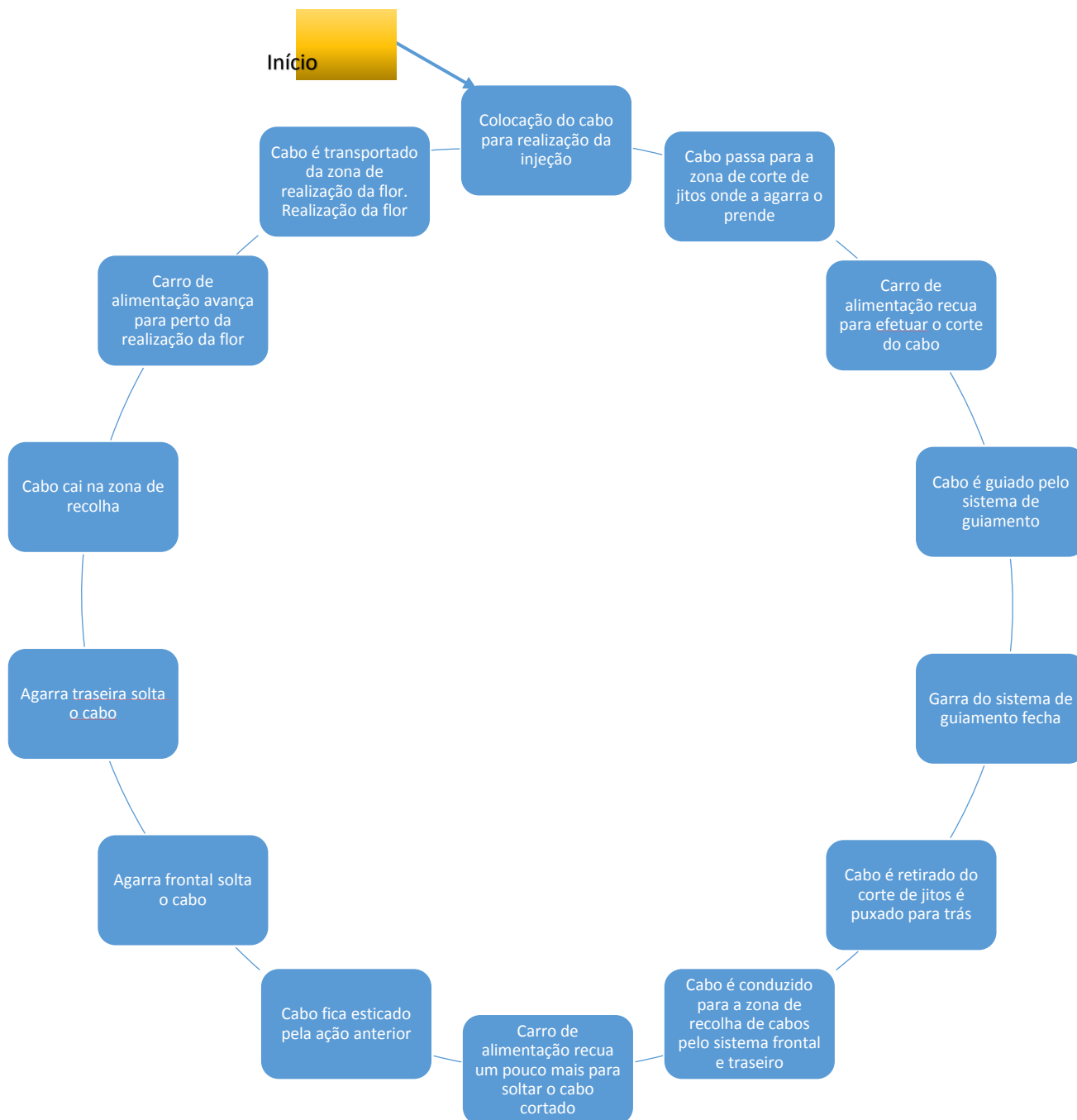


Figura 88 - Passos efetuados pela máquina com o novo sistema de guiamento

3.9 Lista de peças, componentes e orçamentação

Neste capítulo será verificado o valor das peças que são necessárias para a implementação dos sistemas. Na Tabela 15, pode-se ver as peças necessárias assim como as quantidades e valores das mesmas.

Pode-se verificar pela Tabela 15, que os valores mais altos dizem respeito aos equipamentos pneumáticos - cilindros e agarra.

Pode-se verificar também que o valor total de todo o equipamento se situa nos 1876,3€, o qual se pensa ser um valor bastante aceitável, visto que este valor corresponde aos dois sistemas.

Apesar disso o valor do sistema de guiamento é de 1179,3 €, e o sistema de seleção de cabos situa-se nos 697 €.

Esta diferença (apesar de serem sistema completamente diferentes) ao facto do sistema de guiamento incorporar bastantes mais componentes pneumáticos.

Tabela 15 - BOM dos equipamentos

Nº	Descrição	Fornecedor	Part Number	Sistema de guiamento	Sistema de seleção	Total	Preço unidade	Preço total
1	Perfil de alumínio 40x80	Makprofile	40x80	1	0	1	24,4/m	23,4
2	Cilindro pneumático	Festo	DFM-20-100-P-A-GF	2	0	2	151,78	303,6
3	Ligação agarra suporte superior	-	-	1	0	1	50	50
4	Casquilho	Reiman	-	4	0	4	2,9	11,6
5	Suporte superior	-	-	1	0	1	90	90
6	Suporte em Nylon Superior	-	-	1	0	1	50	50
7	Batente	-	-	2	0	2	25	50
8	Suporte Nylon Inferior	-	-	1	0	1	50	50
9	Suporte Inferior	-	-	1	0	1	100	100
10	Cilindro AVDC	Festo	AEVC-12-10-A-P	2	0	2	14,91	29,8
11	Ligação agarra suporte inferior	-	-	1	0	1	100	100
12	Fita de poliamida	-	-	2	0	2	3	6

13	Agarra	Festo	DHRS-25-A	1	0	1	294,54	294,5
14	Chapa de suporte da agarra	-	-	1	0	1	5,8	5,8
15	Chapa de suporte cilindro 1	-	-	1	0	1	6	6
16	Chapa de suporte cilindro 2	-	-	1	0	1	6,65	6,6
17	Esquadro	Makprofile	6093W402 N10R	2	0	2	1,49	2,9
18	Tampa para perfil técnico	Makprofile	6091137	3	0	3	0,34	1
19	Chapa divisora	-	-	0	1	1	70	70
20	Cunha 1	-	-	0	1	1	40	40
21	Cunha 2	-	-	0	1	1	80	80
22	Tubo	Tubinox	Inox 15mm Soldado	0	3	3	3,6	10,8
23	Garfo	Festo	SG-M6	0	1	1	7,6	7,6
24	Cilindro	Festo	DSNU-12-40-P-A	0	1	1	17,72	17,7
25	Cavalete	Festo	LBN-12/16	0	1	1	4,17	4,2
26	Chapa de suporte inferior	-	-	0	5	5	10	50
27	Chapa de suporte superior	-	-	0	5	5	10	50
28	União chapa tubo 1	-	-	0	5	5	20	100
29	União chapa tubo 2	-	-	0	5	5	25	125
30	Chumaceira	Reiman	UCP202	0	5	5	26,56	132,8
31	Perfil técnico 40x40	Makprofile	40x40	0	5	5	12,9/m	9,7
Total								1663

3.10 Instruções de montagem

Neste capítulo irá ser analisada a montagem dos equipamentos, tanto do sistema de guiamento como do sistema de seleção. É de referir que não será demonstrada como será feita a montagem na máquina. Apenas é representada a montagem de cada um dos sistemas individualmente.

Na Figura 89 pode-se ver uma vista explodida do sistema de guiamento e de todos os seus componentes. Com esta vista, é possível verificar a posição de todos os componentes que constituem este equipamento, assim como também é possível verificar qual a posição onde os mesmos devem ser instalados.

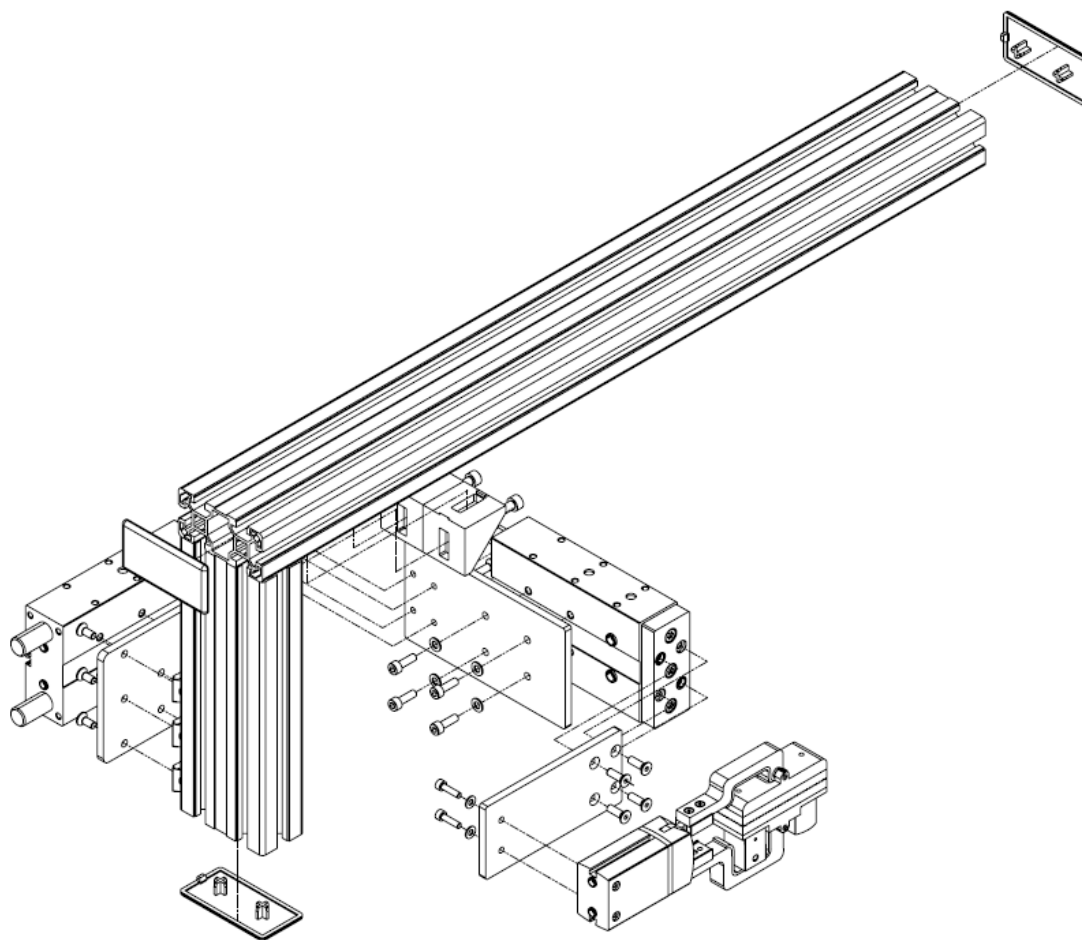


Figura 89 - Vista explodida do sistema de guiamento

Após a montagem do sistema de guiamento, passa-se agora para a montagem do sistema de seleção. Na Figura 90 pode-se ver uma vista explodida com todos os equipamentos do sistema. A Figura 91 é uma vista mais detalhada, de forma a se poder verificar como deve ser feita a montagem de cada um dos cinco pilares do

equipamento, permitindo assim compreender melhor a montagem de todo o equipamento.

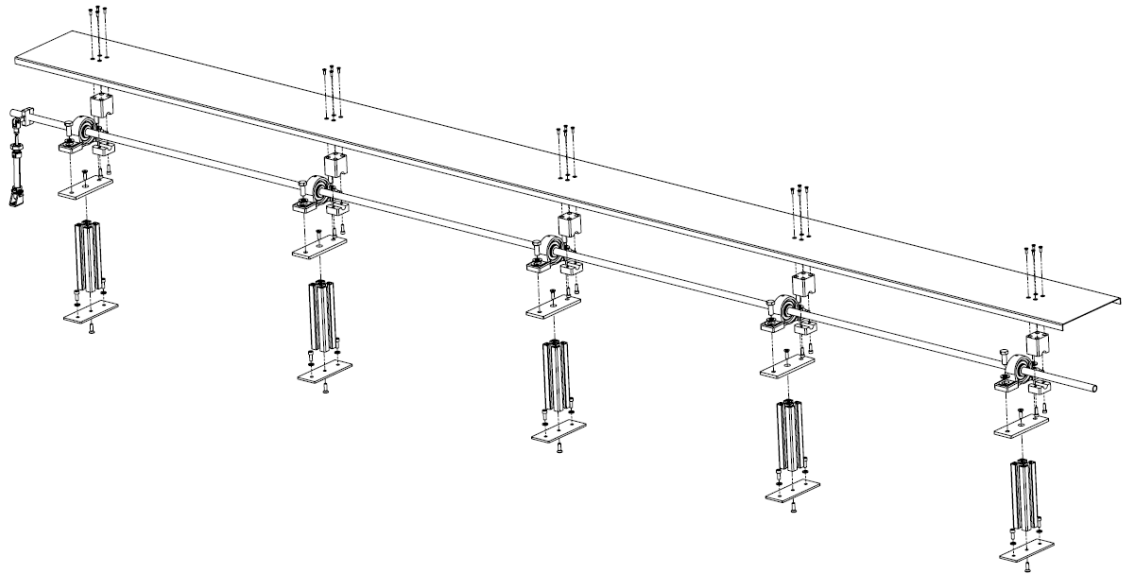


Figura 90 - Vista explodida do sistema de seleção

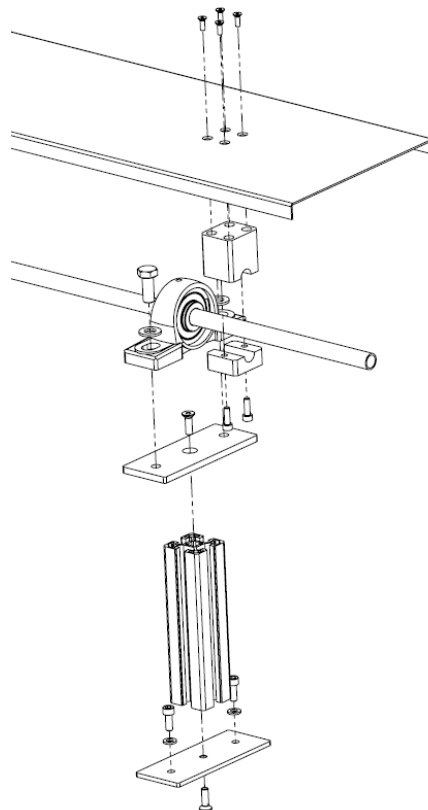


Figura 91 - Vista explodida do sistema de seleção em pormenor

Com as figuras aqui representadas, é possível assim montar todo o equipamento desenhado neste estudo. Após estas pré-montagens, estes equipamentos devem seguir o procedimento de montagem da máquina mostrado, sendo igualmente feita a montagem destes equipamentos na máquina.

3.11 Manual de manutenção

Relativamente à manutenção do equipamento, esta encontra-se dividida em três níveis:

- Primeiro nível - associada ao operador;
- Segundo nível - associada ao técnico de manutenção;
- Terceiro nível - associada ao técnico de manutenção da empresa que projetou o equipamento.

No primeiro nível, o operador deve efetuar as ações previstas na Tabela 16.

Tabela 16 – Ações de manutenção nível 1

Ação	Periodicidade
Verificar se existem fugas de ar nos cilindros	Semanal
Verificar o desgaste das peças em nylon	Semanal
Verificar aperto da estrutura do equipamento	Mensal

No segundo nível, o técnico de manutenção deve efetuar as ações previstas na Tabela 17.

Tabela 17 – Ações de manutenção nível 2

Ação	Periodicidade
Verificar se existem fugas de ar nos cilindros	Mensal
Substituir as peças em poliamida	Semestral
Verificar aperto da estrutura do equipamento	Anual

Para a empresa que projetou o equipamento, não existe nenhuma manutenção a efetuar.

Deve-se ter em consideração que as peças de poliamida são peças de elevado desgaste e que, por este motivo, devem sempre existir peças destas disponíveis para troca.

3.12 Análise FMEA

Neste capítulo será feita uma análise FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*), análise dos modos de falha e seus efeitos, aos sistemas em estudo. Este método é utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos de um ou mais processos. Esta análise tem um impacto financeiro quase imediato, pois incide sobre a minimização e eliminação de potenciais falhas nos processos produtivos.

Para iniciar este estudo, foi composta a Tabela 18 e Tabela 19. Nestas, pode-se analisar os seguintes pontos:

- Processo ou ação: o que é que o sistema esta a efetuar;
- Efeito da falha: qual a consequência da falha;
- Causa básica da falha: o que origina a falha;
- Meio de deteção: como se pode verificar a falha.

Com estas tabelas, pode-se então verificar os possíveis pontos de falhas.

Nas Tabela 20 e Tabela 21, podemos verificar de que forma foi decidida a importância a dar aos fatores de ocorrência, gravidade e deteção. Estes pontos são de extrema importância, por forma a poder fazer a tabela que analisa o índice de risco, pois é este mesmo índice que indicará quais os pontos onde se deve ter mais em atenção neste estudo.

Assim, na Tabela 22 pode-se verificar os índices de risco de todos os pontos descritos na Tabela 18. Já na Tabela 23 pode-se verificar os índices de risco dos pontos descritos na Tabela 19. Quanto maior for o valor, maior deve ser a atenção dada a esse ponto [64] [65] [63] [66].

Tabela 18 – Tabela FMEA para sistema de guiamento

Processo ou ação	Efeito de falha	Causa básica da falha	Meio de detecção		
Esticar o cabo	O cabo não fica na posição correta	A agarra não fecha	Falta de pressão pneumática		
			Tubo pneumático solto		
			Algum elemento a impedir o seu movimento		
				Cilindros de simples efeito não são ativados	Falta de pressão pneumática
					Tubo pneumático solto
					Mola encravada
			A agarra não fica posicionada na posição certa	Cilindros DFM não atuaram de forma correta	Falta de pressão pneumática
			Tubo pneumático solto		
		Estrutura não está na posição correta	Suporte moveu-se da posição inicial		
			Estrutura danificada		

Tabela 19 - Tabela FMEA para sistema de seleção

Processo ou ação	Efeito de falha	Causa básica da falha	Meio de detecção
Selecionar os cabos	A chapa não inclina	Cilindro não está a ser ativado	Falta de pressão pneumática
			Tubo pneumático solto
		Uma ou mais chumaceiras estão bloqueadas	Falta de lubrificação
			Rolamento gripado
		Existe algum objeto a impedir o movimento	Verificar o espaço envolvente ao sistema

Tabela 20 - Escala para o item ocorrência (O)

Nunca	Raramente	Muito baixa	Baixa	Moderada para baixa	Moderada	Moderada para alta	Alta	Muito alta	Sempre
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabela 21 - Escala para os itens gravidade (G) e Detecção (D)

Sempre	Muito alta	Alta	Moderada para alta	Moderada	Moderada para baixo	Baixa	Muito baixo	Raramente	Nunca
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabela 22 - Tabela de índice de risco do sistema de guiamento

Processo ou ação	Efeito de falha	G	Causa básica da falha	O	Meio de detecção	D	Índice de risco (GxOxD)		
Esticar o cabo	O cabo não fica na posição correta	3	A agarra não fecha	6	Falta de pressão pneumática	3	54		
		3		6	Tubo pneumático solto	2	36		
		3		6	Algum elemento a impedir o seu movimento	2	36		
	A agarra não fecha completamente	3	Cilindros de simples efeito não são ativados	6	Falta de pressão pneumática	3	54		
					3	6	Tubo pneumático solto	2	36
					3	6	Mola encravada	6	108
	A agarra não fica posicionada na posição certa	4	Cilindros DFM não atuaram de forma correta	5	Falta de pressão pneumática	3	60		
					4	5	Tubo pneumático solto	2	40

		6	Estrutura não está na posição correta	7	Suporte moveu-se da posição inicial	2	84
		6		7	Estrutura danificada	1	42

Tabela 23 - Tabela de índice de risco do sistema de seleção

Processo ou ação	Efeito de falha	G	Causa básica da falha	O	Meio de detecção	D	Índice de risco (GxOxD)
Selecionar os cabos	A chapa não inclina	4	Cilindro não esta a ser ativado	8	Falta de pressão pneumática	3	96
		4		8	Tubo pneumático solto	2	64
		4	Uma ou mais chumaceiras estão bloqueadas	7	Falta de lubrificação	4	112
		4		7	Rolamento gripado	4	112
		4	Existe algum objeto a impedir o movimento	5	Verificar o espaço envolvente ao sistema	1	20

Agora, com o valor obtido do índice de risco, pode-se então fazer a análise dos sistemas. Em relação ao sistema de guiamento, pode-se verificar que o maior risco se prende com o facto da agarra não fechar totalmente, o que pode acontecer pelo facto da mola de retorno do cilindro estar bloqueada. Este risco deve-se em grande parte à dificuldade de verificar o estado da mola no interior do cilindro.

Em relação ao sistema de guiamento, o maior risco prende-se com algum problema que exista nas chumaceiras. Assim as ações de manutenção referidas na secção 3.11, são de extrema importância pois desta forma pode-se diminuir estes riscos e manter os rolamentos lubrificados de forma a evitar que estes se danifiquem.

CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

4.2 Proposta de Trabalhos Futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a procura de novas soluções para equipamentos industriais, deve ser um processo contínuo. Assim, a automatização de processos tem como principal objetivo uma redução dos custos associados à produção, e um aumento da qualidade dos produtos.

Tarefas como a seleção de cabos após a sua produção, ou o controlo contínuo de uma máquina em funcionamento, podem induzir falhas e obrigar um operador a fazer um trabalho demasiado repetitivo.

Os objetivos deste trabalho, incidiram sobre tornar um equipamento de injeção de Zamak em cabos de comando mais autónomo. Para isso, foram introduzidos dois sistemas, um que permite a separação de cabos corretamente injetados dos restantes (sistema de seleção) e outro sistema que permite que os cabos sejam depositados na zona de recolha corretamente (sistema de guiamento).

Desde início que se procurou uma solução que fosse de encontro à utilização de dispositivos já utilizados pela máquina em estudo, assim como a procura de um sistema simples e robusto.

A solução encontrada foi de encontro ao que se pretendia, sendo agora possível que a seleção dos cabos seja feita pela máquina, assim como a garantia que os cabos caem na sua zona de recolha de forma ordenada. Com a validação desta solução por parte da empresa, e com o trabalho realizado em conjunto com a mesma, garantindo que este é um sistema que futuramente será introduzido na máquina.

Outro ponto que também foi alcançado, foi o facto de manter os custos deste equipamento acessório a um preço que fosse competitivo. O valor de todo o equipamento está situado nos **2810 €** (incluído montagem). Sabendo que seria necessário um funcionário para monitorizar este equipamento a tempo inteiro, e que o mesmo apresenta um custo mensal de **1000 €/mês** (salário base+ impostos +Subsídio de alimentação + seguros), tendo também em conta que os ganhos apresentados pelo equipamento são de 50 % (em relação ao funcionário).

Se dividirmos os 2810 € pelos 500 €/mês de ganho, pode-se concluir assim que em 5,62 meses seria o prazo de amortização do equipamento.

Com este equipamento, será apenas necessário um funcionário para recolher os cabos quando a zona de recolha já estiver completa.

Existe ainda a possibilidade de serem adotados novos sistemas e equipamentos de forma a tornar esta máquina ainda mais atrativa. Na secção 4.2, são apresentadas algumas sugestões para esse fim.

4.2 Proposta de Trabalhos Futuros

Todas as máquinas industriais têm a possibilidade de ser melhoradas.

Para melhoramentos futuros, pode-se equacionar o desenvolvimento de um sistema que, para além de permitir que sejam depositados os cabos corretamente na zona de recolha, seja também possível avisar o operador que a zona de recolha de cabos está a ficar cheia. Uma das formas de realizar este sistema, seria através da adição de um sensor de nível, que avisava quando é que cabos deveriam ser retirados. Este sistema permitiria que o operador estivesse a efetuar outros trabalhos e só teria de se dirigir à máquina para retirar os cabos.

Outro ponto que poderia ser interessante projetar seria a capacidade de o equipamento depositar os cabos injetados não-conformes numa zona própria para os mesmos serem reciclados. Com este sistema não existiria a necessidade de parar a máquina para fazer a recolha destes cabos.

Outro melhoramento que poderia ser efetuado está relacionado com a capacidade deste equipamento produzir cabos que, para além de terem a injeção na parte frontal, teriam também um revestimento plástico ao longo do cabo. Na Figura 92 pode-se ver um cabo com o revestimento pretendido.



Figura 92 - Cabo de aço revestido [67]

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Bibliografia

5 BIBLIOGRAFIA

5.1 Bibliografia

- [1] Rao, R.V., V.J. Savsani, and D. Vakharia, *Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems*. Computer-Aided Design, 2011. **43**(3): p. 303-315.
- [2] Ferreira, D.C.C., *Mitigação das causas geradoras de defeitos em peças metálicas injetadas de caráter estético*. 2017.
- [3] Wadhwa, R.S., *Flexibility in manufacturing automation: A living lab case study of Norwegian metalcasting SMEs*. Journal of Manufacturing Systems, 2012. **31**(4): p. 444-454.
- [4] Costa, M.J.R.M.J., *Optimização do processo de fabrico de componentes para a indústria automóvel*. 2014.
- [5] Braga, E.M.G.F., *Otimização do processo de injeção de Zamak*. 2015.
- [6] Zhang, J., et al., *Effect of composition on the microstructure and mechanical properties of Mg–Zn–Al alloys*. Materials Science and Engineering: A, 2007. **456**(1-2): p. 43-51.
- [7] ElMaraghy, W., et al., *Complexity in engineering design and manufacturing*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2012. **61**(2): p. 793-814.
- [8] Pinto, H. and F.J.G. Silva, *Optimisation of Die Casting Process in Zamak Alloys*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 517-525.
- [9] Rivera, L. and F.F. Chen, *Measuring the impact of Lean tools on the cost–time investment of a product using cost–time profiles*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007. **23**(6): p. 684-689.
- [10] Paralikas, J., et al., *Product modularity and assembly systems: An automotive case study*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2011. **60**(1): p. 165-168.
- [11] Vendramim, J. and F. Enokibara, *Considerações sobre a vida útil de moldes para fundição de alumínio sob pressão*. Informe técnico Isoflama, 2008.
- [12] Safraiter, G.H., *Projeto e implementação de um sistema corta gito em uma máquina de injeção de Zamak*. 2017.
- [13] Savsar, M., *Reliability analysis of a flexible manufacturing cell*. Reliability Engineering & System Safety, 2000. **67**(2): p. 147-152.
- [14] Croci, F., M. Perona, and A. Pozzetti, *Work-force management in automated assembly systems*. International Journal of Production Economics, 2000. **64**(1-3): p. 243-255.
- [15] Cuatrecasas-Arbos, L., J. Fortuny-Santos, and C. Vintro-Sanchez, *The Operations-Time Chart: A graphical tool to evaluate the performance of production systems—From batch-and-queue to lean manufacturing*. Computers & Industrial Engineering, 2011. **61**(3): p. 663-675.
- [16] Nagorny, K., A.W. Colombo, and U. Schmidtman, *A service-and multi-agent-oriented manufacturing automation architecture: An IEC 62264 level 2 compliant implementation*. Computers in Industry, 2012. **63**(8): p. 813-823.

- [17] Pandremenos, J., et al., *Modularity concepts for the automotive industry: a critical review*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2009. **1**(3): p. 148-152.
- [18] Costello, G.A., *Theory of wire rope*. 1997: Springer Science & Business Media.
- [19] Ribeiro, L. and J. Barata, *Re-thinking diagnosis for future automation systems: An analysis of current diagnostic practices and their applicability in emerging IT based production paradigms*. Computers in Industry, 2011. **62**(7): p. 639-659.
- [20] Hu, S.J., et al., *Assembly system design and operations for product variety*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2011. **60**(2): p. 715-733.
- [21] Chen, X., et al., *A flexible assembly retrieval approach for model reuse*. Computer-Aided Design, 2012. **44**(6): p. 554-574.
- [22] Michalos, G., et al., *Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010. **2**(2): p. 81-91.
- [23] Chaplin, C., *Failure mechanisms in wire ropes*. Engineering failure analysis, 1995. **2**(1): p. 45-58.
- [24] Mayyas, A., et al., *Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(4): p. 1845-1862.
- [25] Rosa, C., F.J.G. Silva, and L.P. Ferreira, *Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 1035-1042.
- [26] Araújo, W.F.d.S., *Optimização de Processo Semiautomático de Fabrico de Componentes para Automóveis*. 2014.
- [27] Hunter, S.L., *Ergonomic evaluation of manufacturing system designs*. Journal of Manufacturing Systems, 2002. **20**(6): p. 200112002.
- [28] Groover, M.P., *Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing 2nd ed*. Assembly Automation, 2002. **22**(3): p. 298-299.
- [29] Rosario, J.M., *Automação industrial*. 2009: Editora Baraúna.
- [30] Jovane, F., Y. Koren, and C. Boer, *Present and future of flexible automation: towards new paradigms*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2003. **52**(2): p. 543-560.
- [31] Caggiano, A. and R. Teti, *Digital manufacturing cell design for performance increase*. Procedia CIRP, 2012. **2**: p. 64-69.
- [32] Antonioli, I., et al., *Standardization and optimization of an automotive components production line*. Procedia Manufacturing, 2017. **13**: p. 1120-1127.
- [33] Araújo, W., et al., *Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. **90**(5-8): p. 1539-1545.
- [34] Guariente, P., et al., *Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer*. Procedia Manufacturing, 2017. **13**: p. 1128-1134.
- [35] Lee, H.F., *An integrated design support method for flexible assembly systems*. 1995.
- [36] Moreira, B., et al., *A Novel Concept Of Production And Assembly Processes Integration*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 1385-1395.

- [37] Demoly, F., et al., *An assembly oriented design framework for product structure engineering and assembly sequence planning*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2011. **27**(1): p. 33-46.
- [38] Nunes, P. and F. Silva, *Increasing flexibility and productivity in small assembly operations: a case study*, in *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*. 2013, Springer. p. 329-340.
- [39] Saurin, T.A. and C.F. Ferreira, *The impacts of lean production on working conditions: A case study of a harvester assembly line in Brazil*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009. **39**(2): p. 403-412.
- [40] Mart, I. <https://www.indiamart.com>, [Online]. 15 de Dezembro de 2017; Available from: <https://www.indiamart.com>.
- [41] Feldmann, K., B. Müller, and T. Haselmann, *Automated assembly of lightweight automotive components*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1999. **48**(1): p. 9-12.
- [42] Houshmand, M. and B. Jamshidnezhad, *An extended model of design process of lean production systems by means of process variables*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2006. **22**(1): p. 1-16.
- [43] Panizzolo, R., *Applying the lessons learned from 27 lean manufacturers.: The relevance of relationships management*. International journal of production economics, 1998. **55**(3): p. 223-240.
- [44] Schleich, H., J. Schaffer, and L.F. Scavarda. *Managing complexity in automotive production*. in *19th international conference on production research*. 2007. Citeseer.
- [45] Goeking, W., *Da máquina a vapor aos softwares de automação*. Publicação online—O Setor Elétrico/Memória da Eletricidade.[Acessado em 20/08/2010]. URL: <http://www.osestoreletrico.com.br/web/automacao.html>, 2010.
- [46] Moniz, A., *Competitividade no sector automóvel e formas inovadoras de gestão do emprego em Portugal*. 2006.
- [47] Araújo, L., et al., *A novel dynamic holding system for thin metal plate shearing machines*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2017. **44**: p. 242-252.
- [48] Chryssolouris, G., N. Papakostas, and D. Mavrikios, *A perspective on manufacturing strategy: Produce more with less*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2008. **1**(1): p. 45-52.
- [49] Adira. *Catalog*, www.adira.pt, [Online]. 15 de Fevereiro de 2018.
- [50] Cecil, J., D. Powell, and D. Vasquez, *Assembly and manipulation of micro devices—A state of the art survey*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007. **23**(5): p. 580-588.
- [51] Ollero, A., S. Boverie, and R. Goodal, *Mechatronics, robotics and components for automation and control*. Annual Reviews in Control IFAC Journal, 2005. **26**: p. 203-228.
- [52] Morioka, M. and S. Sakakibara, *A new cell production assembly system with human-robot cooperation*. CIRP annals, 2010. **59**(1): p. 9-12.
- [53] He, Y., M.L. Smith, and R.A. Dudek, *Robotic material handler scheduling in flexible manufacturing systems for mass customization*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2010. **26**(6): p. 671-676.

- [54] Costa, M., et al., *How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018. **94**(9-12): p. 3041-3063.
- [55] Carpanzano, E. and F. Jovane, *Advanced automation solutions for future adaptive factories*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2007. **56**(1): p. 435-438.
- [56] Google. www.google.pt, [Online]. 26 de Janeiro de 2018.
- [57] Festo. *Catalog*, www.festo.com, [Online]. 02 de fevereiro de 2018.
- [58] Chiaravalli. *Catalog*, www.chiaravalli.com, [Online]. 20 de Abril de 2018.
- [59] Color, P. www.123paintcolor.download, [Online]. 02 de Maio de 2018.
- [60] Lucefin. *Catalog*, www.lucefin.com, [Online]. 17 de Fevereiro de 2018.
- [61] Matweb, A. <http://asm.matweb.com>, [Online]. 10 de Março de 2018.
- [62] Aalco. www.aalco.co.uk, [Online]. 10 de Abril de 2018.
- [63] Gepeq. <http://www.gepeq.dep.ufscar.br>, [Online]. 12 de Dezembro de 2017.
- [64] Stamatis, D.H., *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. 2003: ASQ Quality Press.
- [65] Ben-Daya, M., *Failure mode and effect analysis*, in *Handbook of maintenance management and engineering*. 2009, Springer. p. 75-90.
- [66] Rodrigues, M.V.C., *Ações para a qualidade*. 2004: Qualitymark Editora Ltda.
- [67] Cablemax, C.d.a. <http://www.cabosdeacocablemax.com.br>, [Online]. 05 de Maio de 2018.

ANEXOS

6.1 ANEXO1

6.2 Anexo 2

6.3 Anexo 3

6.4 Desenhos Técnicos

6 ANEXOS

6.1 ANEXO1

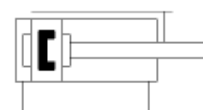
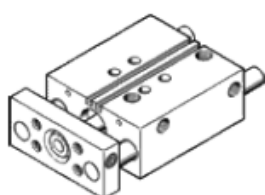
guided drive DFM-20-100-P-A-GF

Part number: 170846

★ Core product range

The proximity switch, type SMTSO-8E, can be used with this product with stroke lengths equal to or greater than 50 mm. The corresponding mounting kit, type SMB-8E, is mounted inwardly or outwardly.

With integrated guide.



FESTO

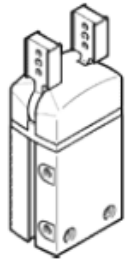
Data sheet

Feature	values
Centre of gravity distance from working load to yoke plate	50 mm
Stroke	100 mm
Piston diameter	20 mm
Operating mode of drive unit	Yoke
Cushioning	P: Flexible cushioning rings/plates at both ends
Assembly position	Any
Guide	Plain-bearing guide
Design structure	Guide
Position detection	For proximity sensor
Operating pressure	2 ... 10 bar
Max. speed	0,8 m/s
Mode of operation	double-acting
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Corrosion resistance classification CRC	2 - Moderate corrosion stress
Ambient temperature	-20 ... 80 °C
Impact energy in end positions	0,2 Nm
Max. torque Mx	2,1 Nm
Max. useful load as a function of the stroke at defined distance xs	77 N
Theoretical force at 6 bar, return stroke	141 N
Theoretical force at 6 bar, advance stroke	188 N
Moving mass	736 g
Product weight	1.595 g
alternative connections	See product drawing
Pneumatic connection	M5
Materials note	Conforms to RoHS
Materials information for cover	Wrought Aluminium alloy
Materials information for seals	NBR
Materials information, housing	Wrought Aluminium alloy
Materials information for piston rod	High alloy steel, non-corrosive

6.2 Anexo 2

radial gripper
DHRS-25-A

Part number: 1310162

FESTO**Data sheet**

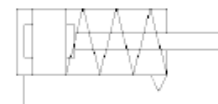
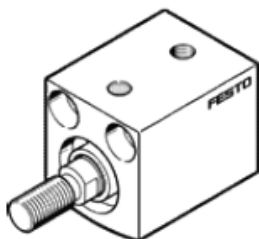
Feature	values
Size	25
Max. replacement accuracy	$\leq 0,2$ mm
Max. opening angle	180 deg
Rotationally symmetrical	$\leq 0,2$ mm
Repetition accuracy, gripper	$\leq 0,1$ mm
Number of gripper fingers	2
Assembly position	Any
Mode of operation	double-acting
Gripper function	radial
Design structure	guided motion sequence
Position detection	For proximity sensor
Operating pressure	2 ... 8 bar
Max. operating frequency of gripper	≤ 3 Hz
Min. opening time at 6 bar	102 ms
Min. closing time at 6 bar	105 ms
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Corrosion resistance classification CRC	1 - Low corrosion stress
Ambient temperature	5 ... 60 °C
Total gripping torque at 6 bar, opening	233 Ncm
Total gripping torque at 6 bar, closing	215 Ncm
Mass moment of inertia	0,69 kgcm ²
Max. force on gripper jaw Fz static	75 N
Max. torque at gripper Mx static	3,2 Nm
Max. torque at gripper My static	3,2 Nm
Max. torque at gripper Mz static	3,2 Nm
Product weight	270 g
Mounting type	Optional Internal thread and centring sleeve With through-hole and centring sleeve
Pneumatic connection	M5
Materials note	Conforms to RoHS
Materials information for cover cap	PA
Materials information, housing	Wrought Aluminium alloy Hard anodised
Materials information for gripper jaws	High alloy steel

6.3 Anexo 3

atuador de curso reduzido AEVC-12-10-A-P

Código da peça: 188087
★ Linha de produtos básicos

terminal da haste do atuador com rosca externa.



Ficha técnica

Característica	Valor
Curso	10 mm
Diâmetro do êmbolo	12 mm
Força de retorno da mola, na posição de retorno	4 N
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Modo de operação	de simples ação no avanço
Princípio construtivo	Êmbolo Haste
Deteção de posição	Sem
Pressão de trabalho	1,5 ... 10 bar
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	1 – Resistência à corrosão baixa
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Força teórica a 6 bar, avanço	59 N
Massa móvel	6,9 g
Peso do produto	40 g
Tipo de fixação	Opcional: com furo passante com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Isento de cobre e PTFE
Material da proteção	Liga de alumínio anodizado
Material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Material do corpo	Liga de alumínio anodizado
Material da haste do pistão	Aço alta liga

BMH**2 Technical Data****2.2 Motor-specific data****2.2.1 BMH070**

BMH...		0701		0702		0703	
Winding		P	T	P	T	P	T
Technical data - general							
Continuous stall torque M_0 ^{1) 2)}	Nm (lb-in)	1.40 (12.39)	1.40 (12.39)	2.48 (21.95)	2.48 (21.95)	3.40 (30.09)	3.40 (30.09)
Peak torque M_{max}	Nm (lb-in)	4.20 (37.17)	4.20 (37.17)	7.44 (65.85)	7.44 (65.85)	10.20 (90.28)	10.20 (90.28)
With supply voltage $U_n = 115 \text{ Vac}$ ¹⁾							
Nominal speed of rotation n_N	rpm	1250	2500	1250	2500	1250	2000
Nominal torque M_N	Nm (lb-in)	1.38 (12.21)	1.35 (11.95)	2.37 (20.98)	2.27 (20.09)	3.18 (28.15)	3.05 (26.99)
Nominal current I_N	A _{rms}	1.75	2.75	2.82	4.92	3.56	4.98
Nominal power P_N	kW	0.18	0.35	0.31	0.59	0.42	0.64
With supply voltage $U_n = 230 \text{ Vac}$ ¹⁾							
Nominal speed of rotation n_N	rpm	3000	5000	3000	5000	2500	4000
Nominal torque M_N	Nm (lb-in)	1.34 (11.86)	1.31 (11.59)	2.23 (19.74)	2.06 (18.23)	2.96 (26.20)	2.70 (23.90)
Nominal current I_N	A _{rms}	1.75	2.76	2.70	4.46	3.47	4.41
Nominal power P_N	kW	0.42	0.68	0.70	1.08	0.75	1.13
With supply voltage $U_n = 400 \text{ Vac}$ ¹⁾							
Nominal speed of rotation n_N	rpm	5500	-	5500	-	5000	-
Nominal torque M_N	Nm (lb-in)	1.30 (11.51)	-	2.01 (17.79)	-	2.53 (22.39)	-
Nominal current I_N	A _{rms}	1.65	-	2.39	-	2.91	-
Nominal power P_N	kW	0.75	-	1.16	-	1.32	-
With supply voltage $U_n = 480 \text{ Vac}$ ¹⁾							
Nominal speed of rotation n_N	rpm	7000	-	7000	-	6500	-
Nominal torque M_N	Nm (lb-in)	1.27 (11.24)	-	1.89 (16.73)	-	2.26 (20.00)	-
Nominal current I_N	A _{rms}	1.70	-	2.36	-	2.74	-
Nominal power P_N	kW	0.93	-	1.38	-	1.54	-

1) Conditions for performance data: Mounted to steel plate (2.5 * flange dimension)² area, 10 mm (0.39 in) thickness, centered hole.

2) M_0 = Continuous stall torque at 20 rpm and 100% duty cycle; at speeds of rotation of < 20 rpm the continuous stall torque is reduced to 87%.

2 Technical Data

BMH

BMH...		0701		0702		0703	
Winding		P	T	P	T	P	T
Technical data - electrical							
Maximum current I_{max}	A_{rms}	5.97	9.56	9.65	17.64	12.57	17.84
Continuous stall current I_0	A_{rms}	1.78	2.85	2.94	5.38	3.91	5.55
Voltage constant k_E -v ¹⁾	V_{rms}	48.5	30.3	51.7	28.3	53.4	37.6
Torque constant k_t ²⁾	Nm/A	0.79	0.49	0.84	0.46	0.87	0.61
Winding resistance R_{20U-v}	Ω	8.61	3.47	3.79	1.15	2.54	1.24
Winding inductance L_{2U-v}	mH	20.70	8.09	11.78	3.52	8.35	4.14
Winding inductance L_{4U-v}	mH	20.70	8.09	11.78	3.52	8.35	4.14
Technical data - mechanical							
Maximum speed of rotation n_{max}	rpm	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Rotor inertia without holding brake J_M	kgcm ²	0.59	0.59	1.13	1.13	1.67	1.67
Rotor inertia with holding brake J_M	kgcm ²	0.70	0.70	1.24	1.24	1.78	1.78
Mass without holding brake m	kg	1.60	1.60	2.30	2.30	3.00	3.00
Mass with holding brake m	kg	2.60	2.60	3.30	3.30	4.00	4.00

1) RMS value at 1000 rpm and 20 °C (68 °F).

2) At $n = 20$ rpm and 100% duty cycle.

019944113749_V2.1_03.2016

Product data sheet

Characteristics

GBX060005K

gearbox straight teeth GBX - Ø 60 mm -
reduction 5:1 < 10 arc.min - 40 N.m



Main

Range compatibility	Lexium ILA Lexium ILS Lexium SD3 Lexium 32 Lexium 28 Lexium 62 ILM Lexium 62 Lexium 62
Product or component type	Planetary gearbox
Gear box type	Straight teeth
Device short name	GBX
Product compatibility	ILM MH3 SH3 BCH2 (60 mm, 2 motor stacks) BCH2 (60 mm, 1 motor stacks) ILS (57 mm, 3 motor stacks) ILS (57 mm, 2 motor stacks) ILS (57 mm, 1 motor stacks) ILA (57 mm, 2 motor stacks) ILA (57 mm, 1 motor stacks) BRS3 BSH (70 mm, 3 motor stacks) BSH (70 mm, 2 motor stacks) BSH (70 mm, 1 motor stacks) BSH (55 mm, 3 motor stacks) BSH (55 mm, 2 motor stacks) BSH (55 mm, 1 motor stacks) BMH (70 mm, 3 motor stacks) BMH (70 mm, 2 motor stacks) BMH (70 mm, 1 motor stacks)
Gearbox external diameter	60 mm
Reduction ratio	5:1

Complementary

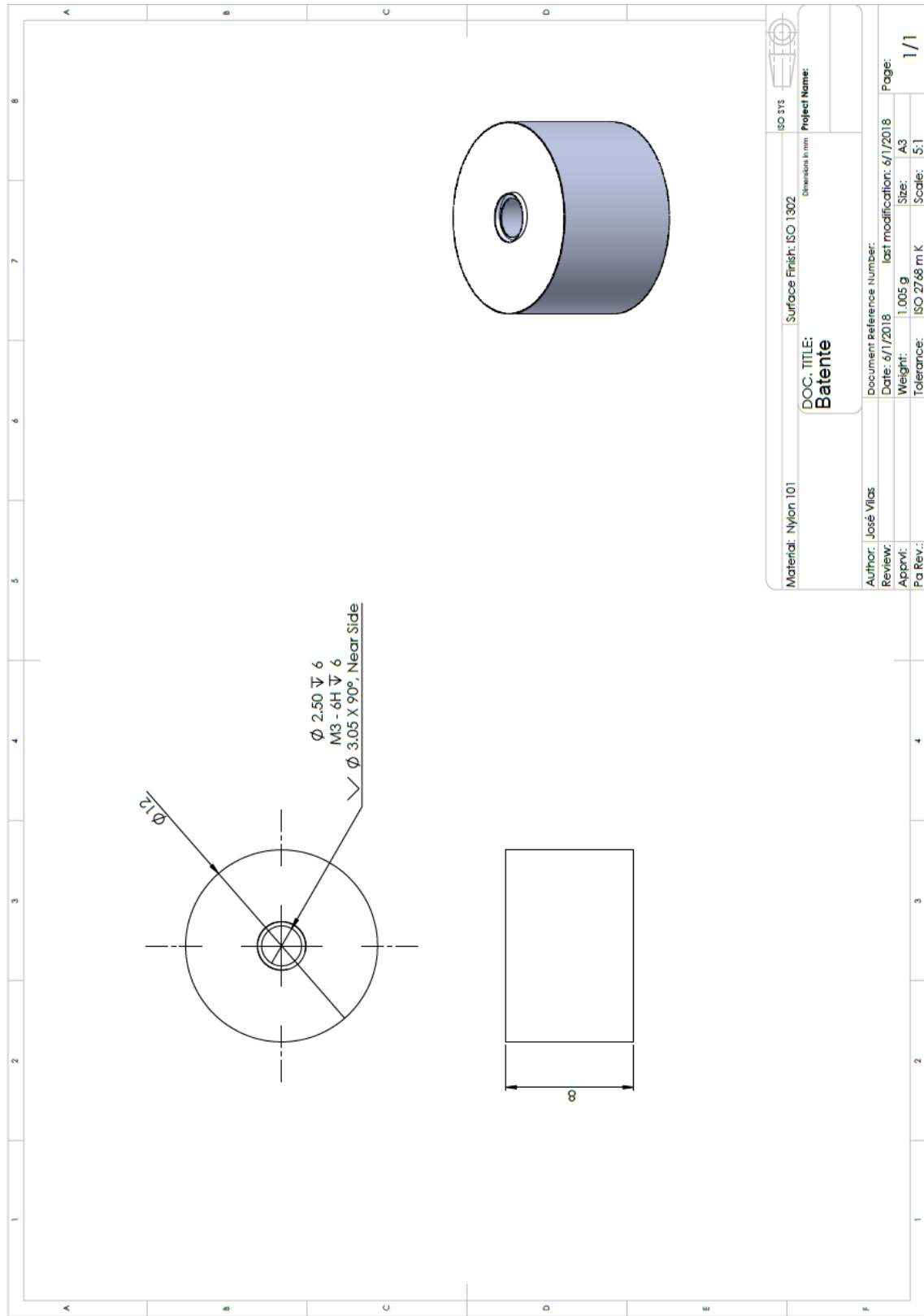
Torsional backlash	< 10 arc.min
Torsional rigidity	2.3 N.m/arcmin
Housing colour	Black
Housing material	Black anodized aluminium
Shaft material	C 45
Additional information	Lubricated for life
Service life in hours	30000 h at 100 rpm at 30 °C
Mounting position	Any position
Efficiency	96 %
Maximum radial force Fr	340 N at 100 rpm, force applied at mid-distance from output shaft during 30000 hour at 30 °C
Maximum axial force Fa	450 N at 100 rpm, during 30000 hour at 30°C
Moment of inertia	0.078 kg.cm ²
Continuous output torque	40 N.m at 100 rpm at 30 °C
Maximum output torque	64 N.m at 100 rpm at 30 °C
Product weight	0.9 kg

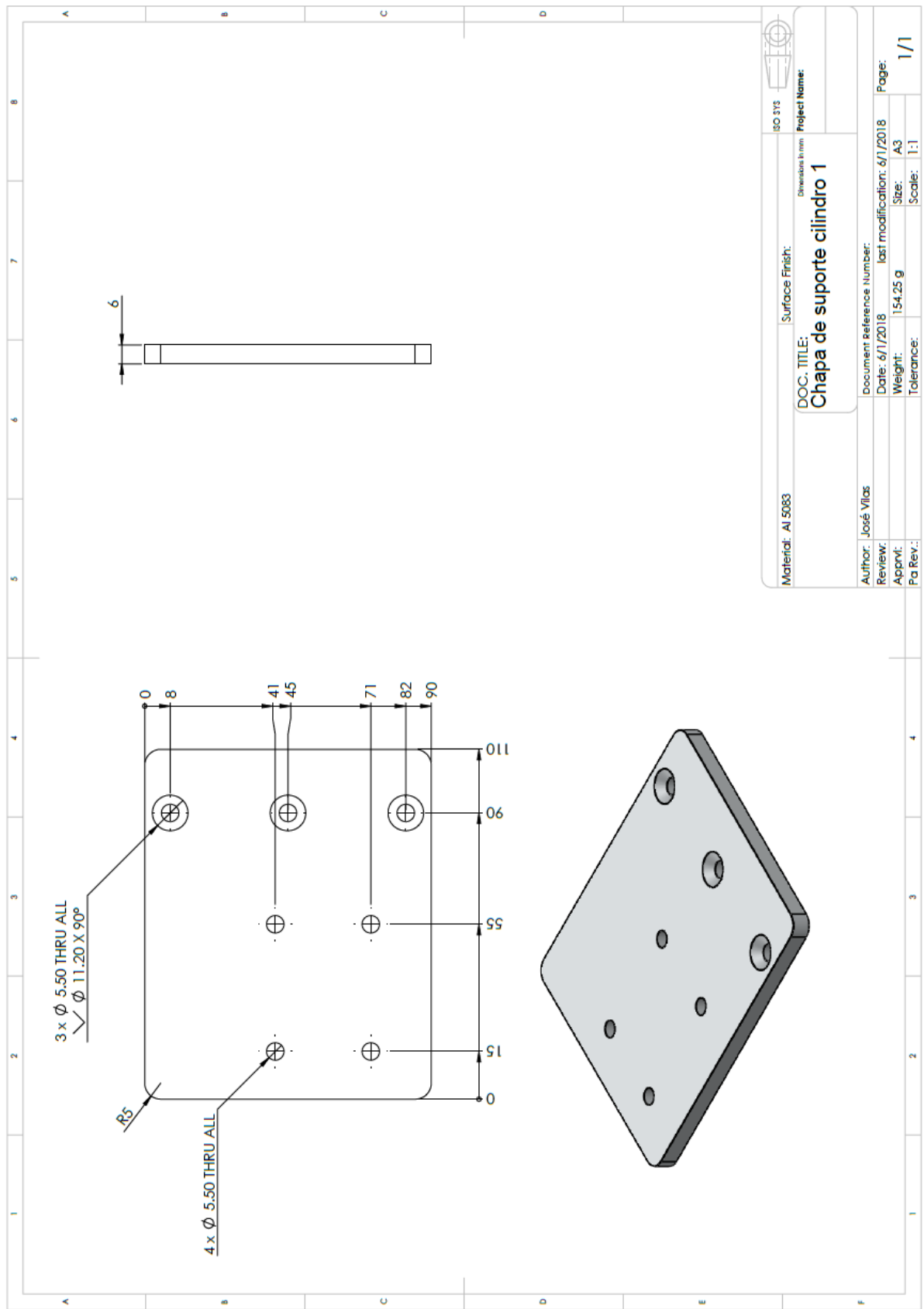
The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the performance of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining, suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the only of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with regard to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industrial SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

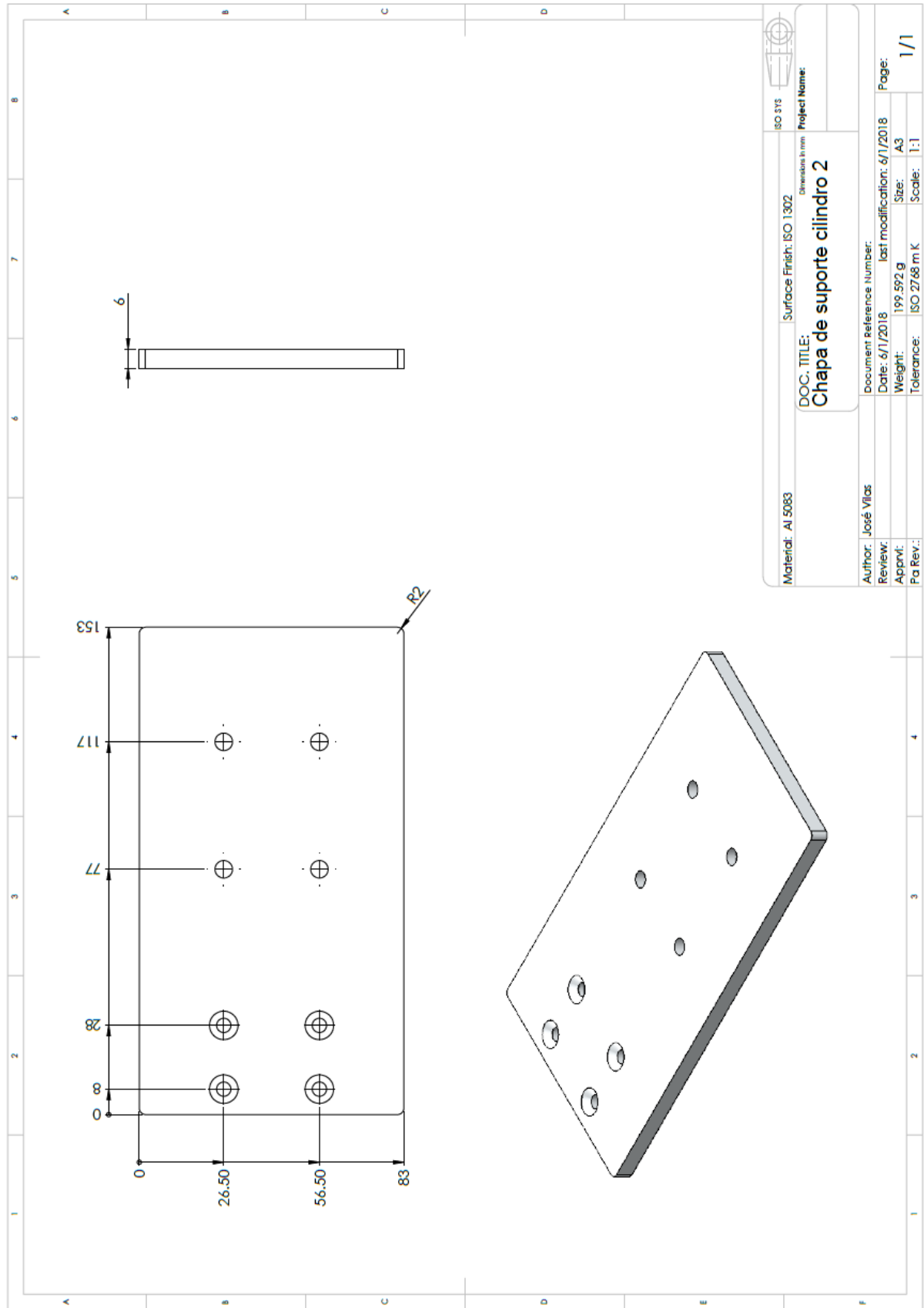
Feb 9, 2016

1

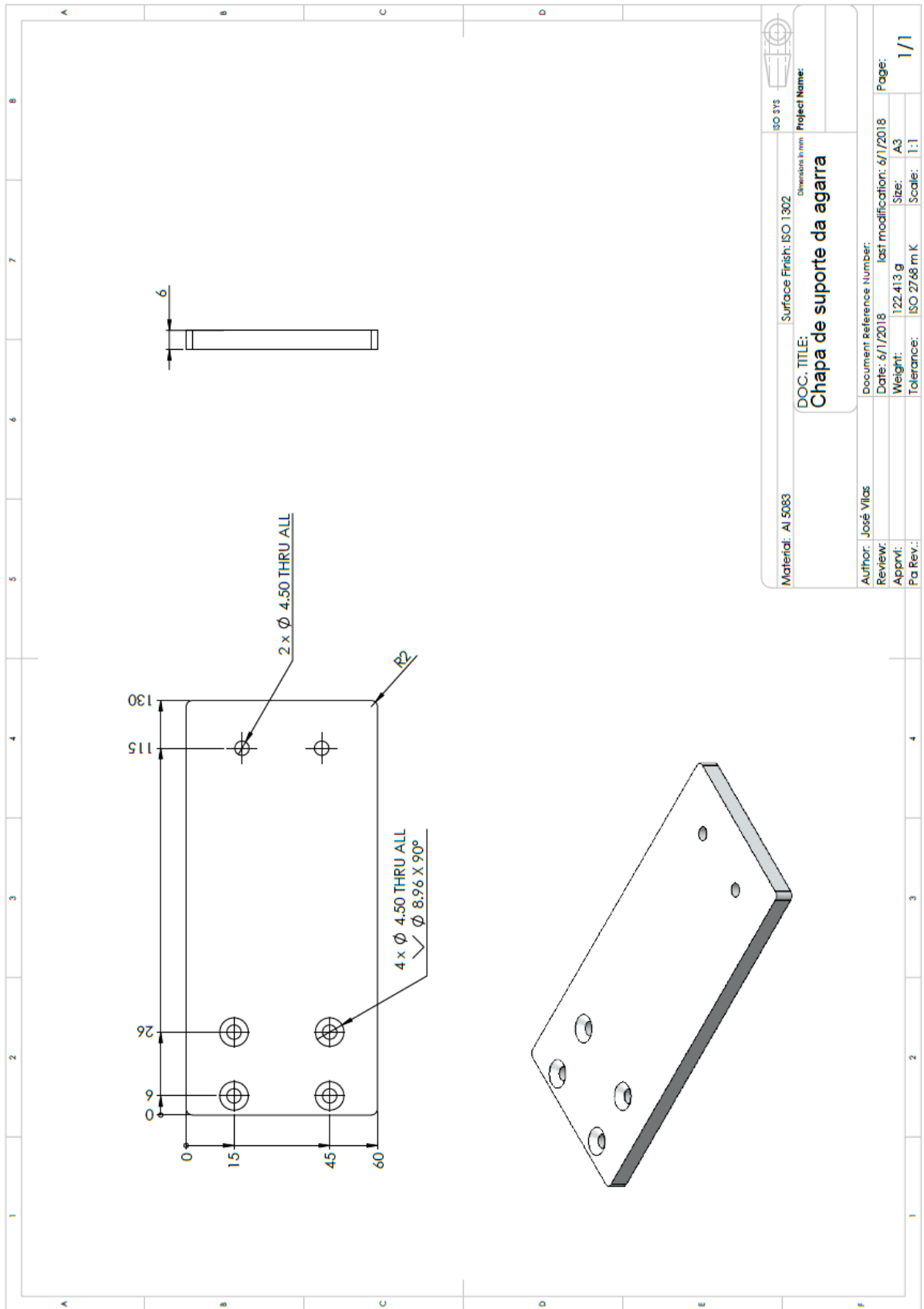
6.4 Desenhos Técnicos

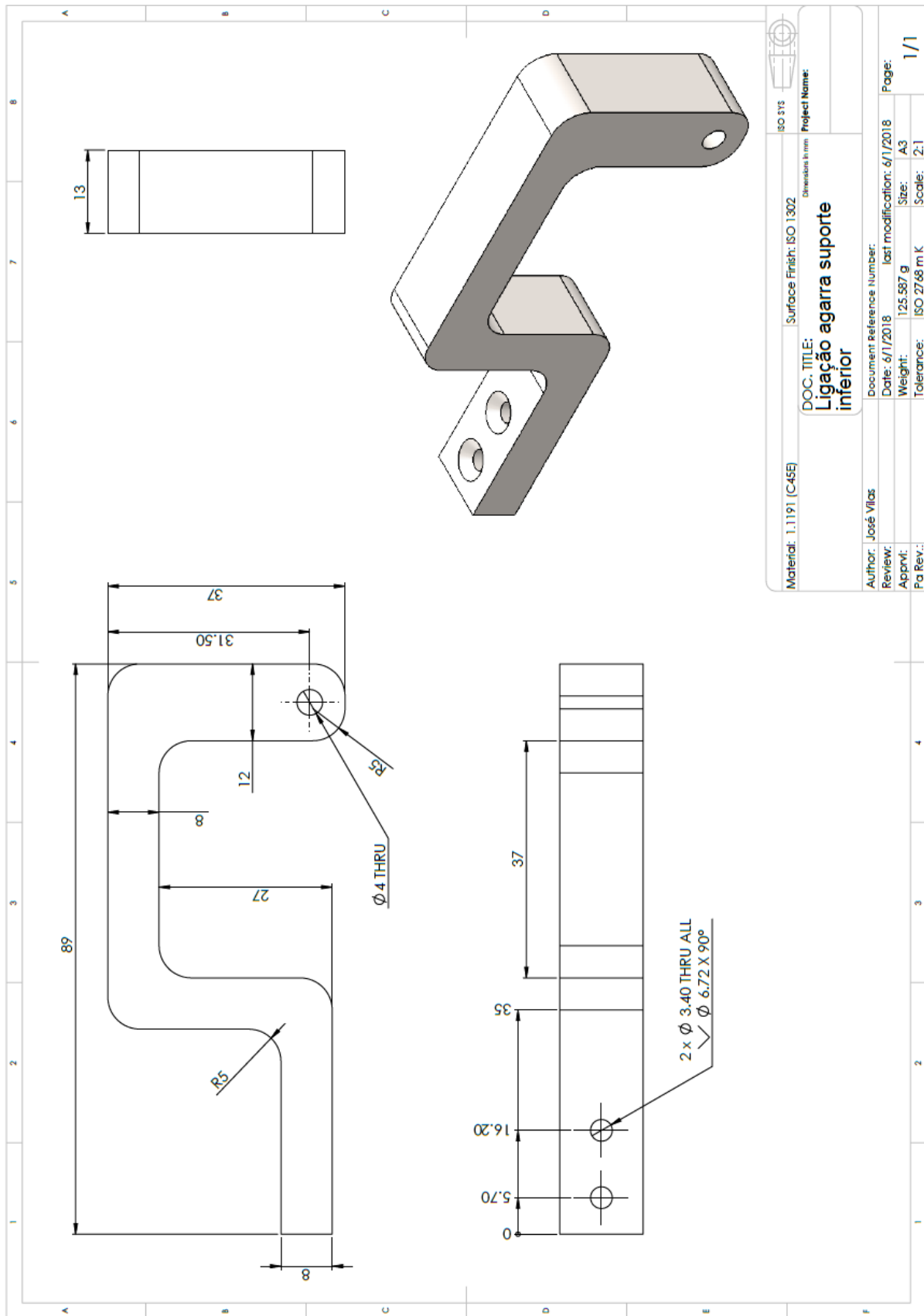


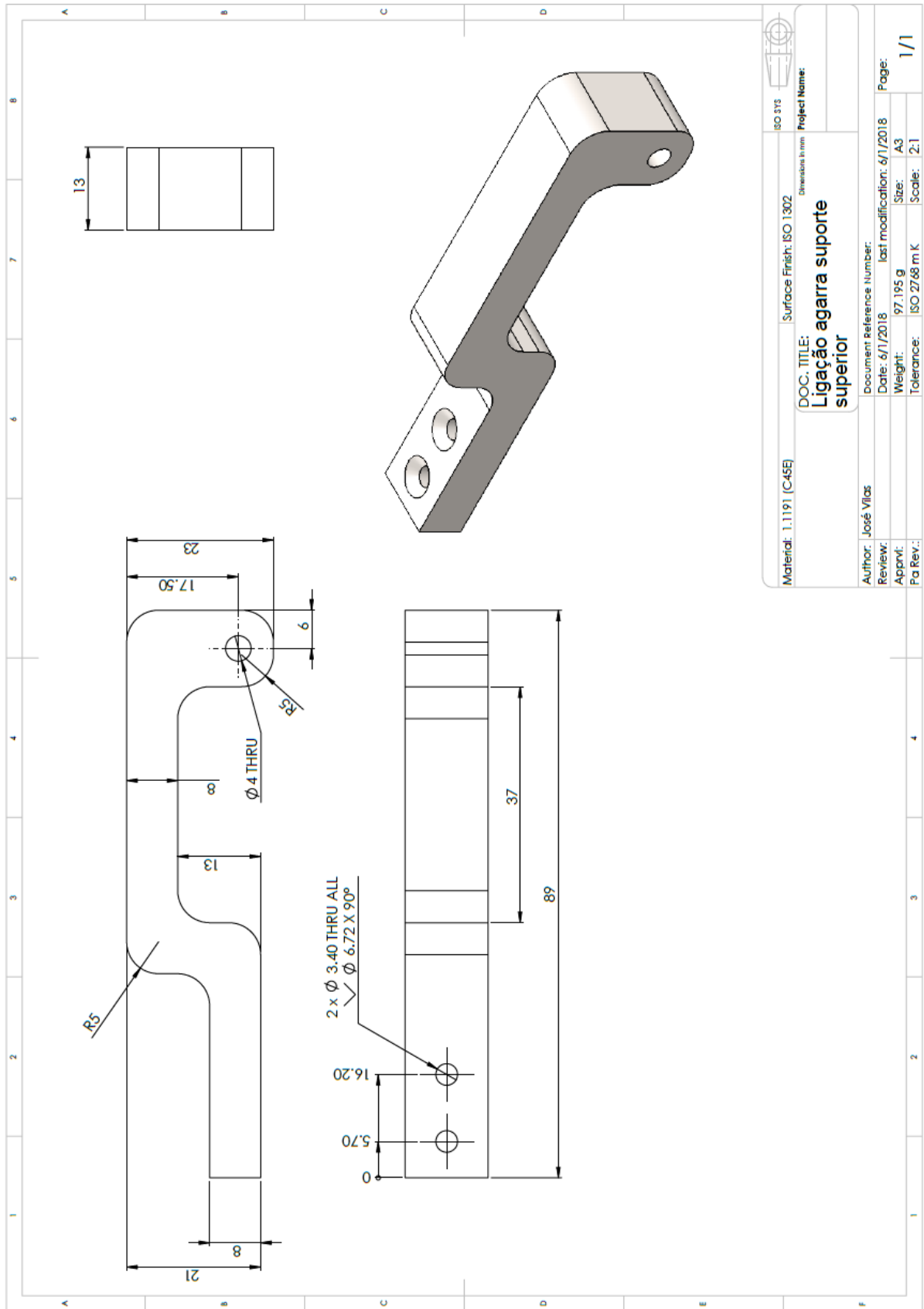


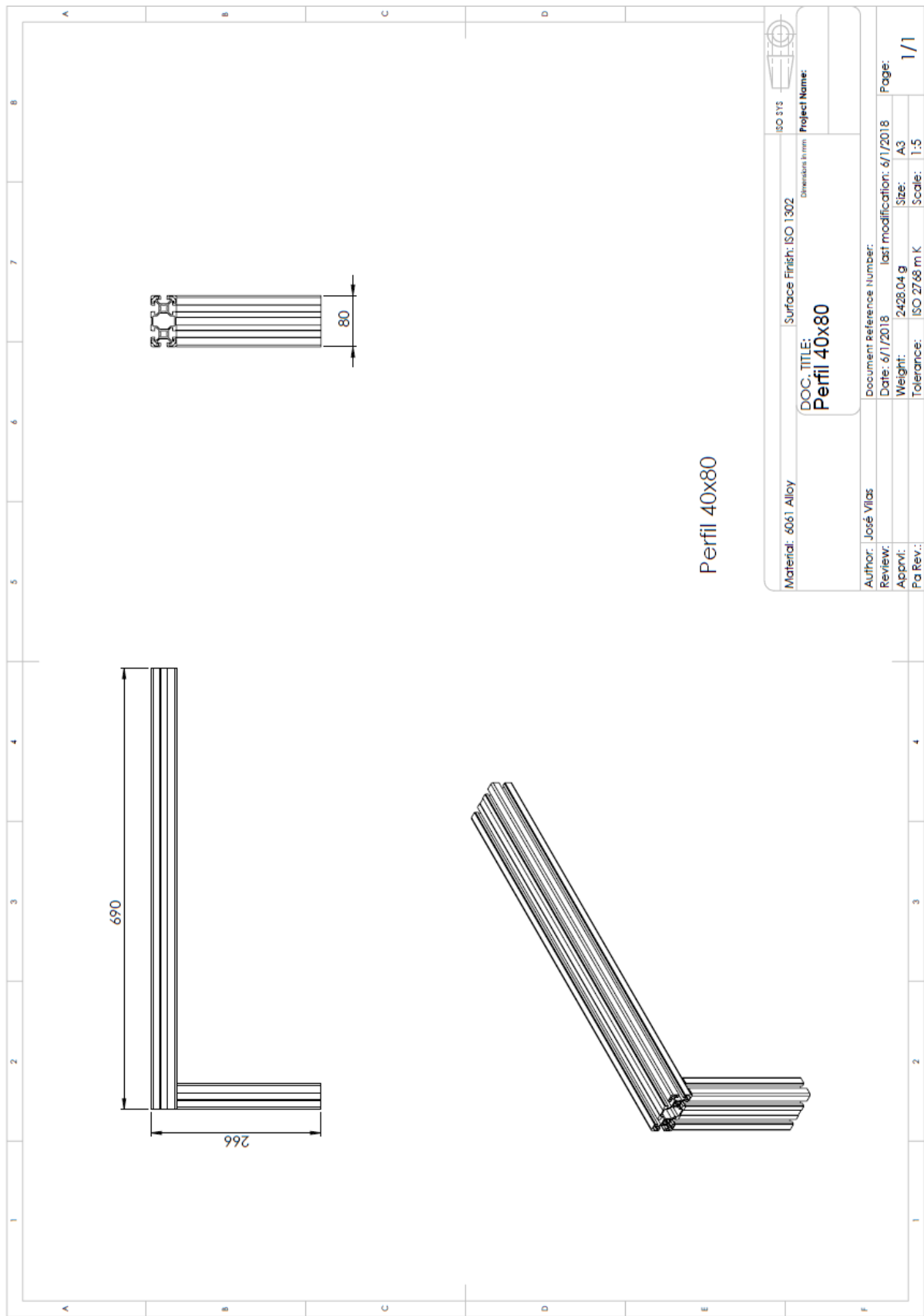


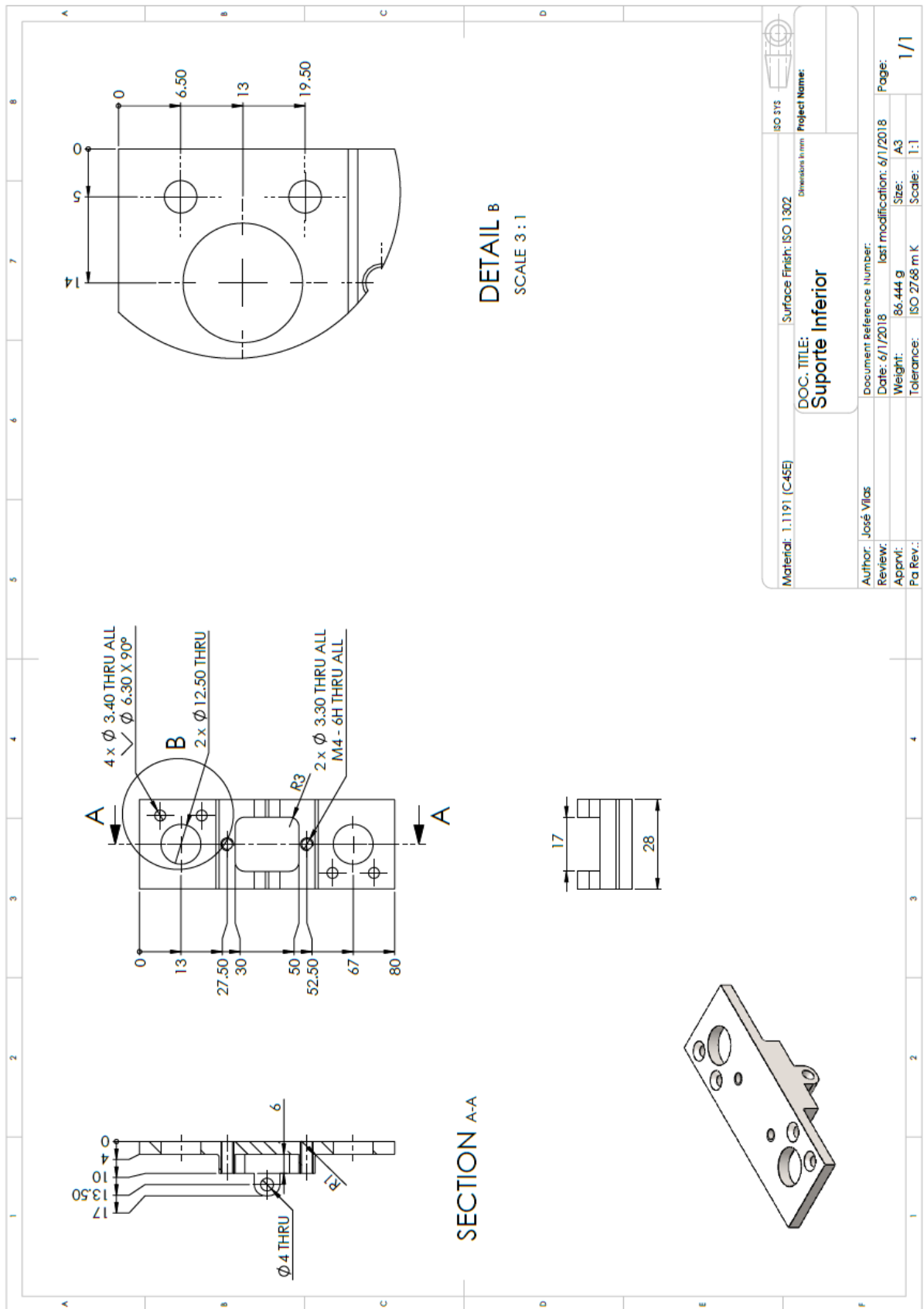
Material: AI 5083	Surface Finish: ISO 1302	ISO 515
DOC. TITLE: Chapa de suporte cilindro 2		Dimensiones in mm Project Name:
Author: José Vilas	Document Reference Number:	
Review: Date: 6/1/2018	last modification: 6/1/2018	Page: 1/1
Apprv: Weight: 199.592 g	Size: A3	
Pa Rev.: Tolerance: ISO 2768 m K	Scale: 1:1	

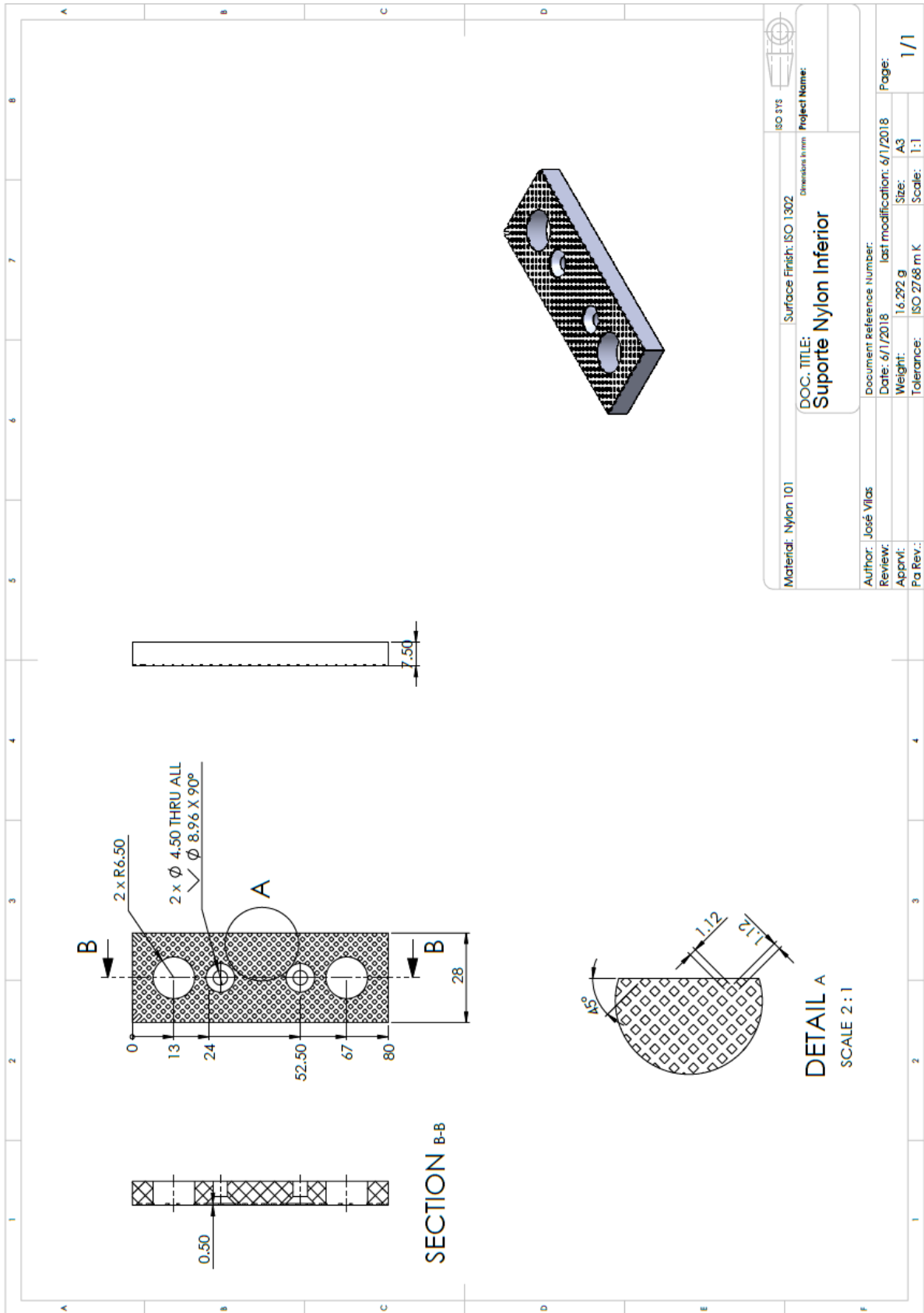




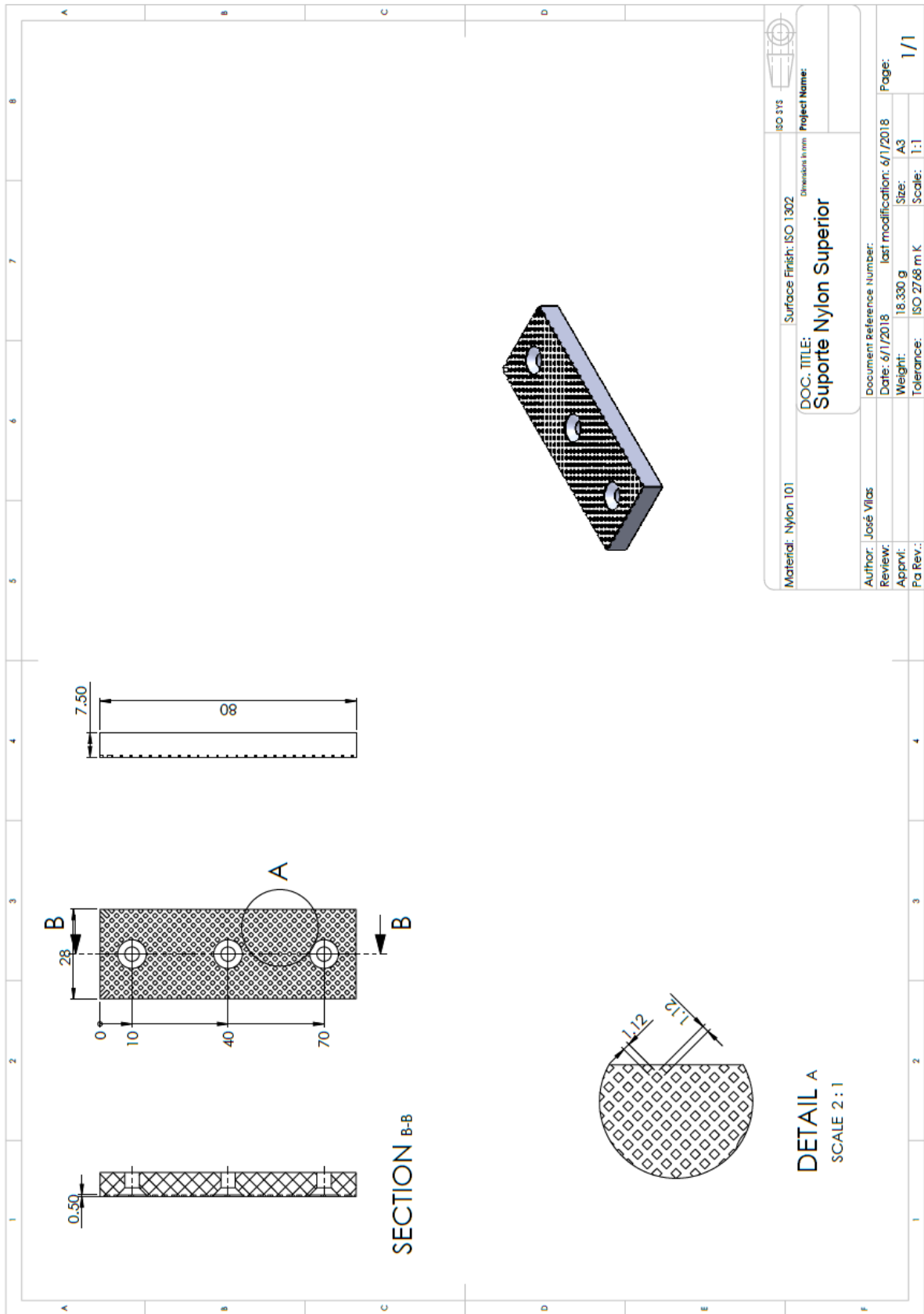


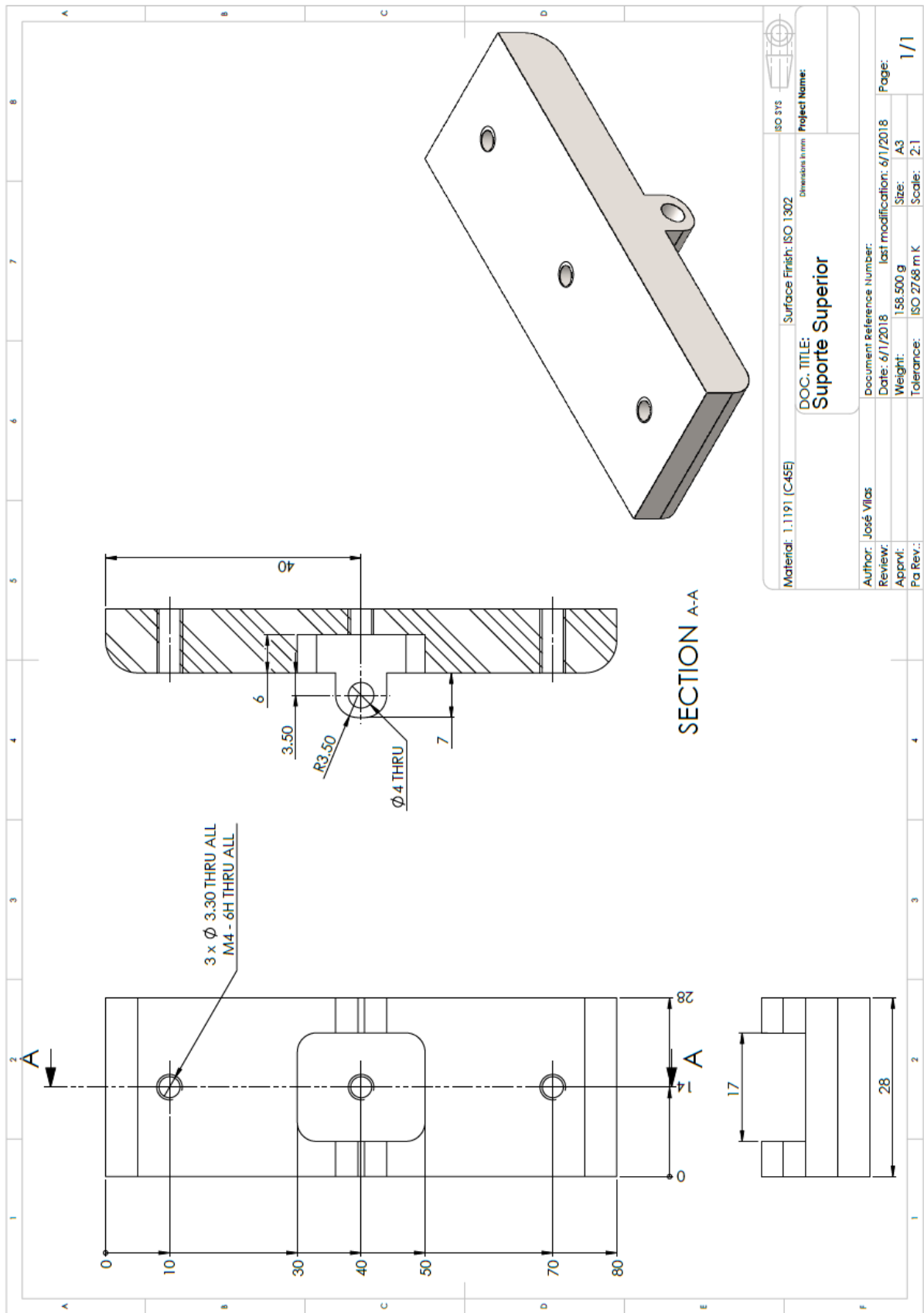


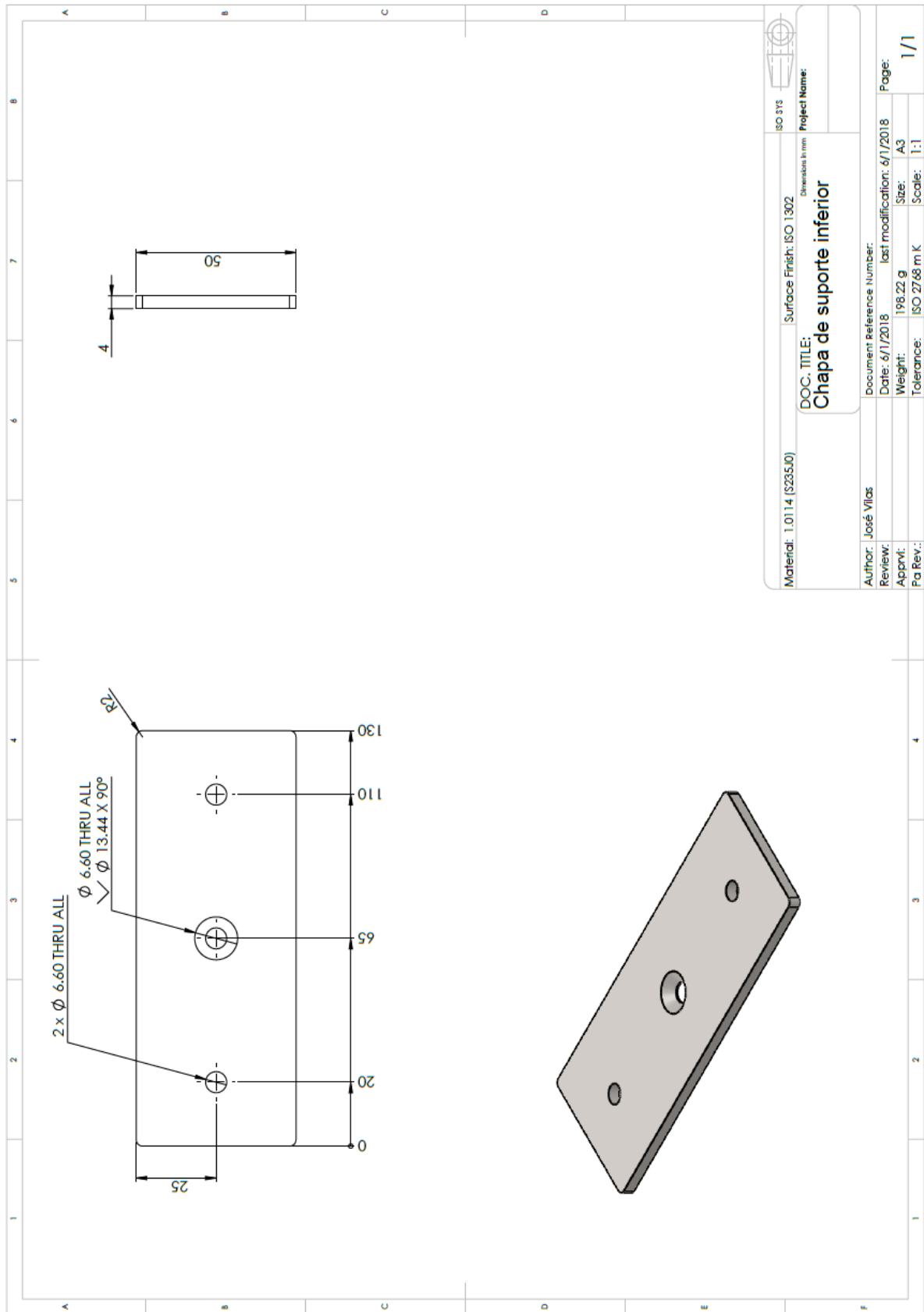


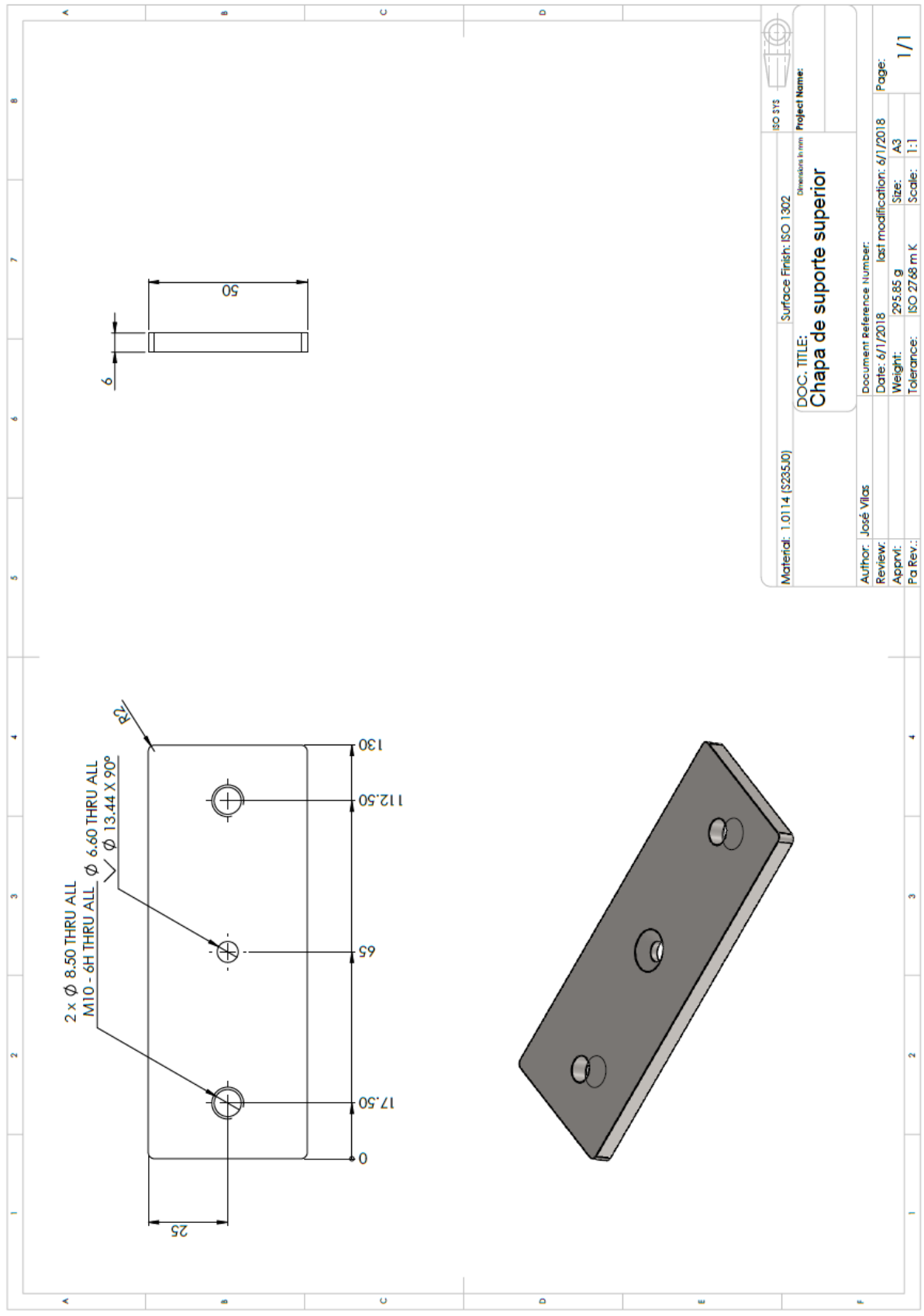


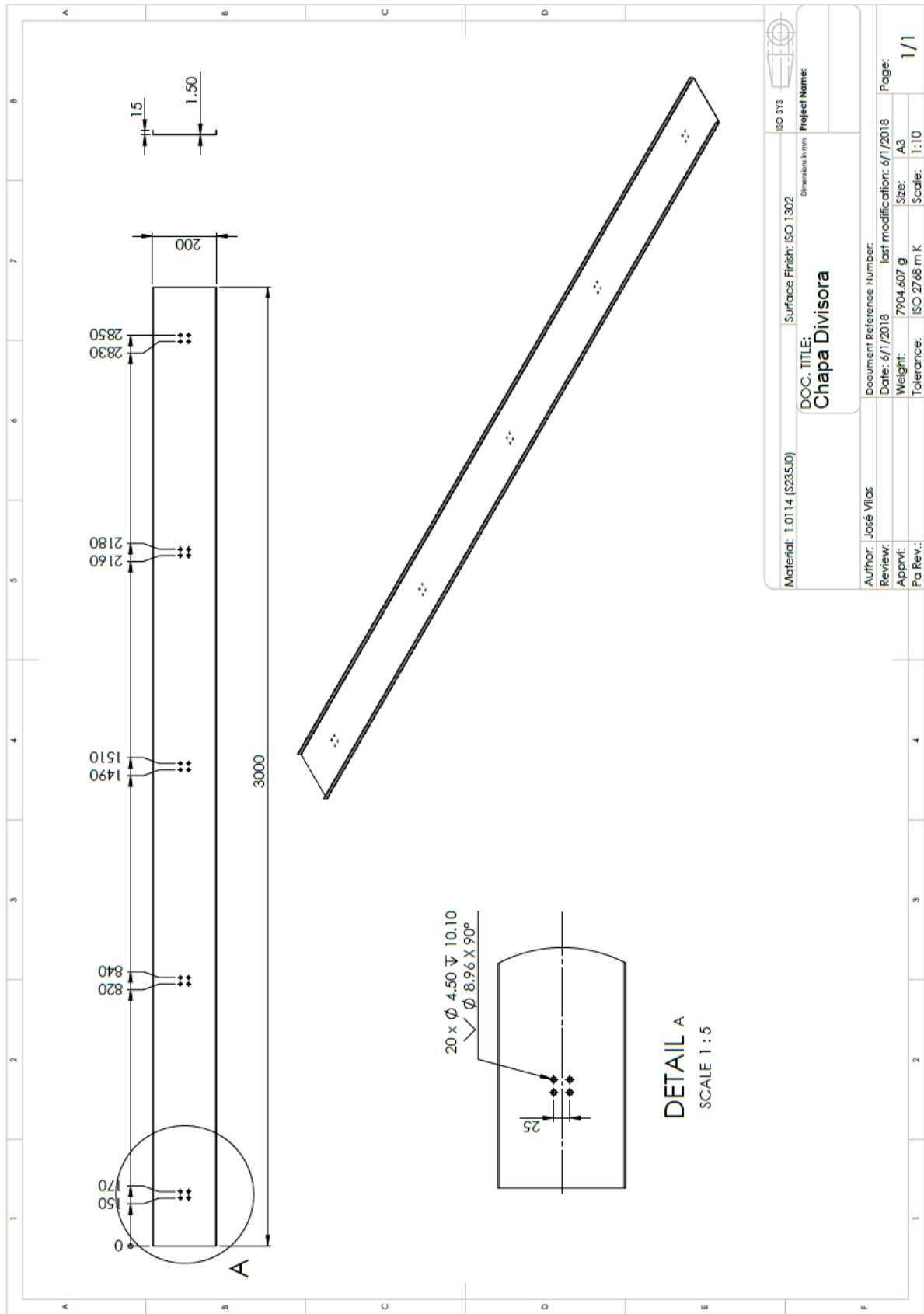
Material: Nylon 101	Surface Finish: ISO 313	ISO 313
Dimensions in mm		
Project Name:		
DOC. TITLE: Suporte Nylon Inferior		
Author: José Vilas	Document Reference Number:	Page:
Review: Date: 6/1/2018	last modification: 6/1/2018	1/1
Apprv: Weight: 16.292 g	Size: A3	
Pa Rev.: Tolerance: ISO 2768 m K	Scale: 1:1	



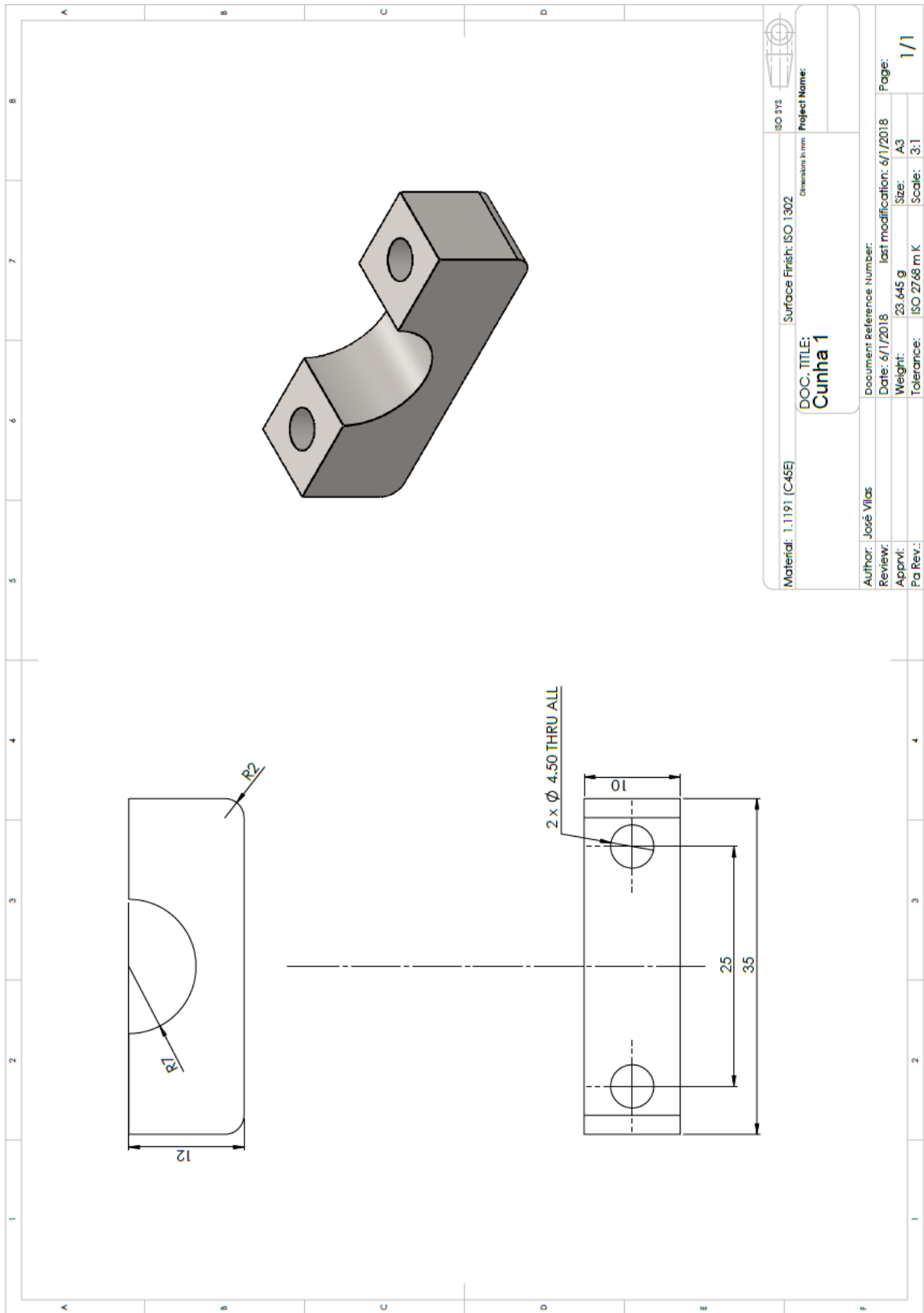


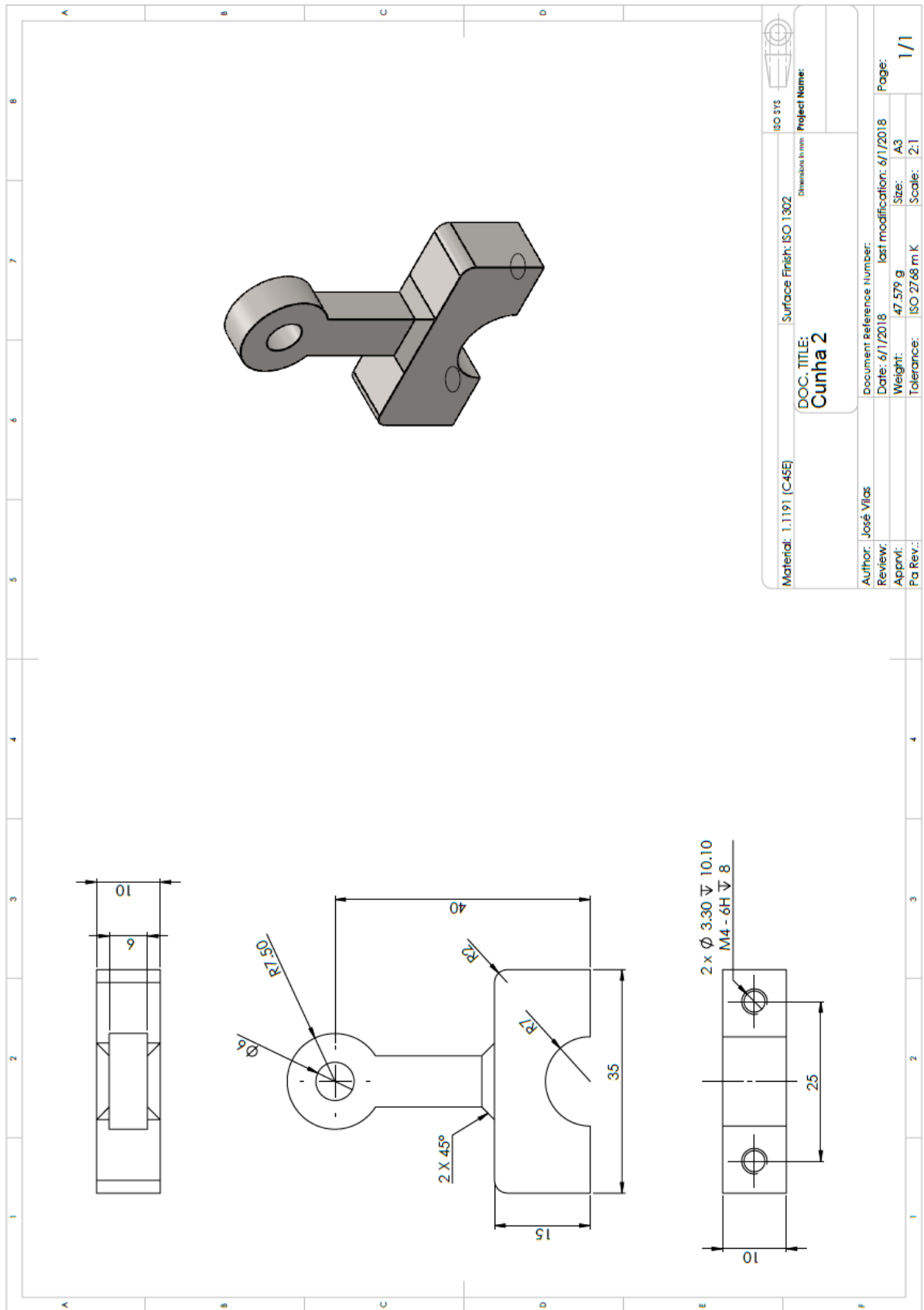


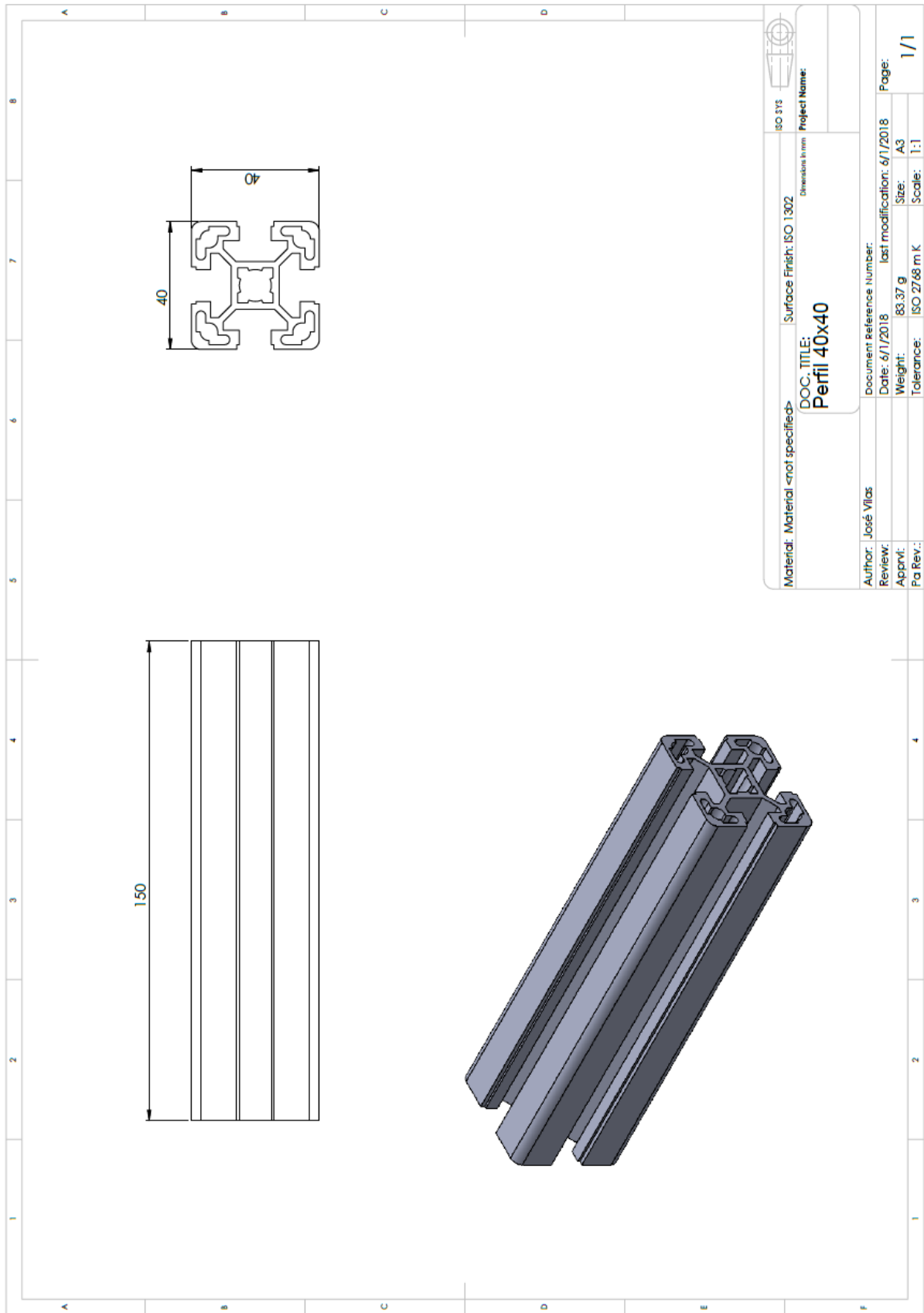


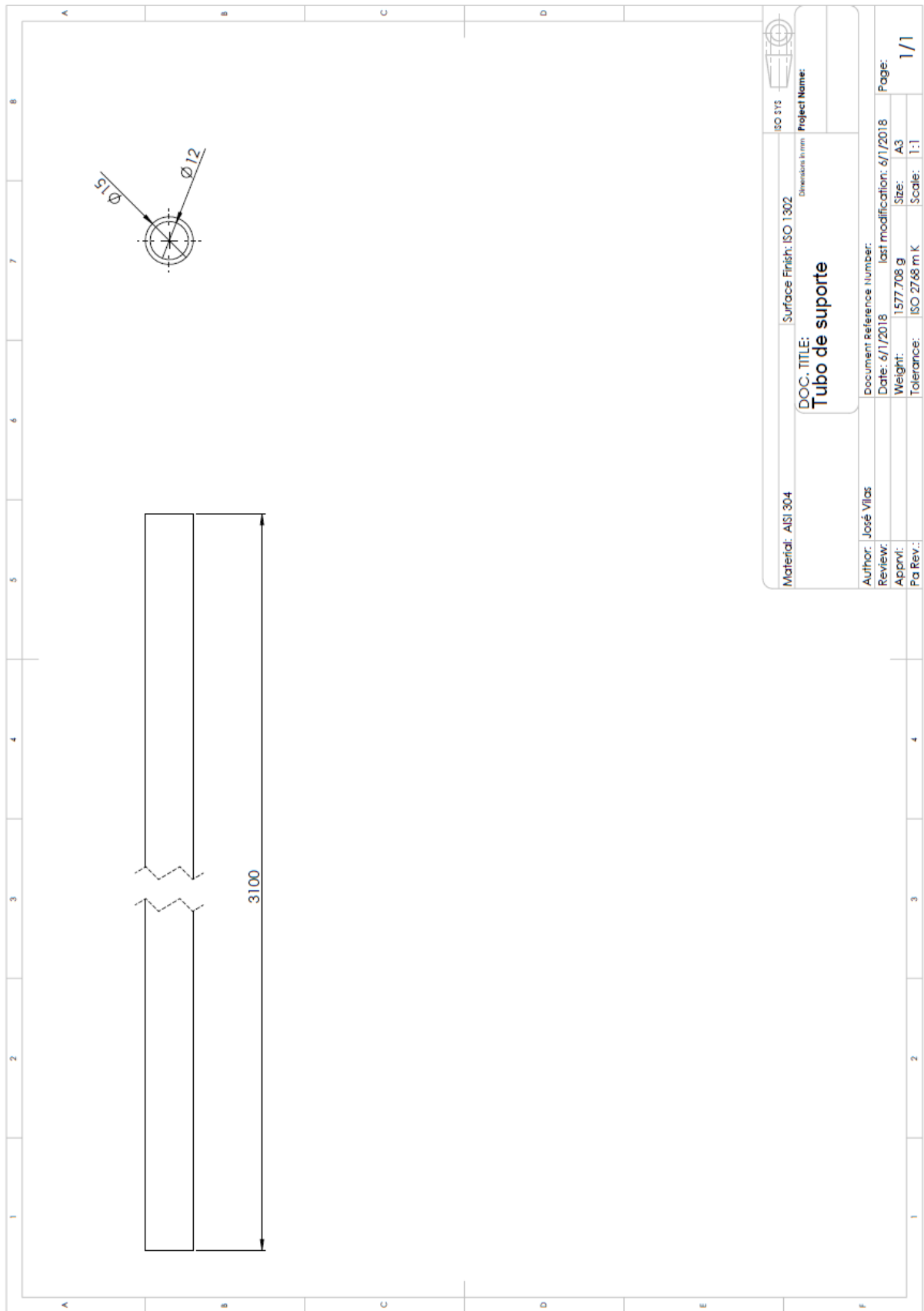


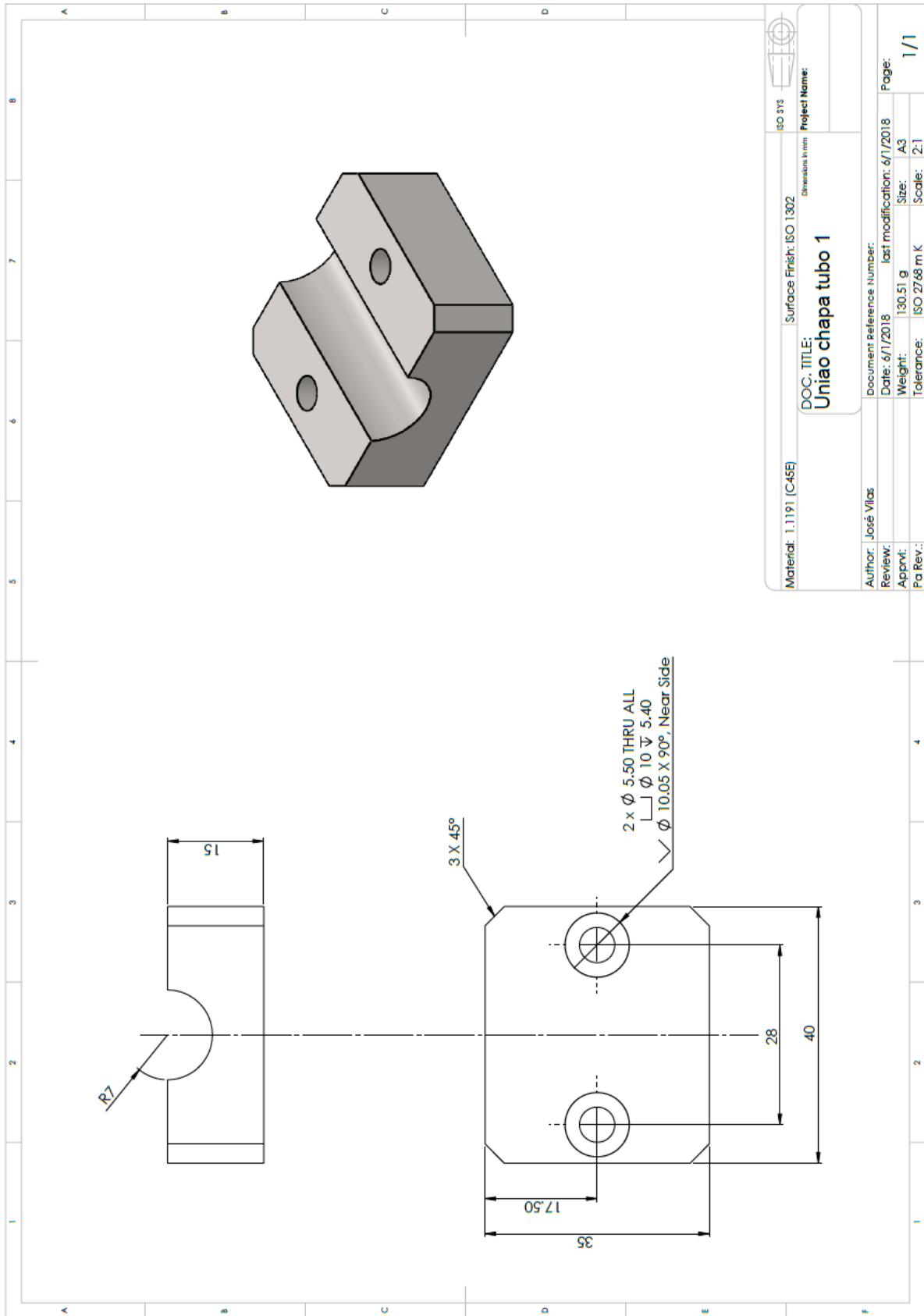
Material: 1.0114 (S235J0)	Surface Finish: ISO 1302	ISO 313	Project Name:
DOC. TITLE: Chapa Divisora			
Author: José Vilas	Document Reference Number:	Dimensions in mm	
Review: Date: 6/1/2018	last modification: 6/1/2018	Page: 1/1	
Apprv: Weight: 7904.607 g	Size: A3		
Pa Rev.: Tolerance: ISO 2768 m K	Scale: 1:10		

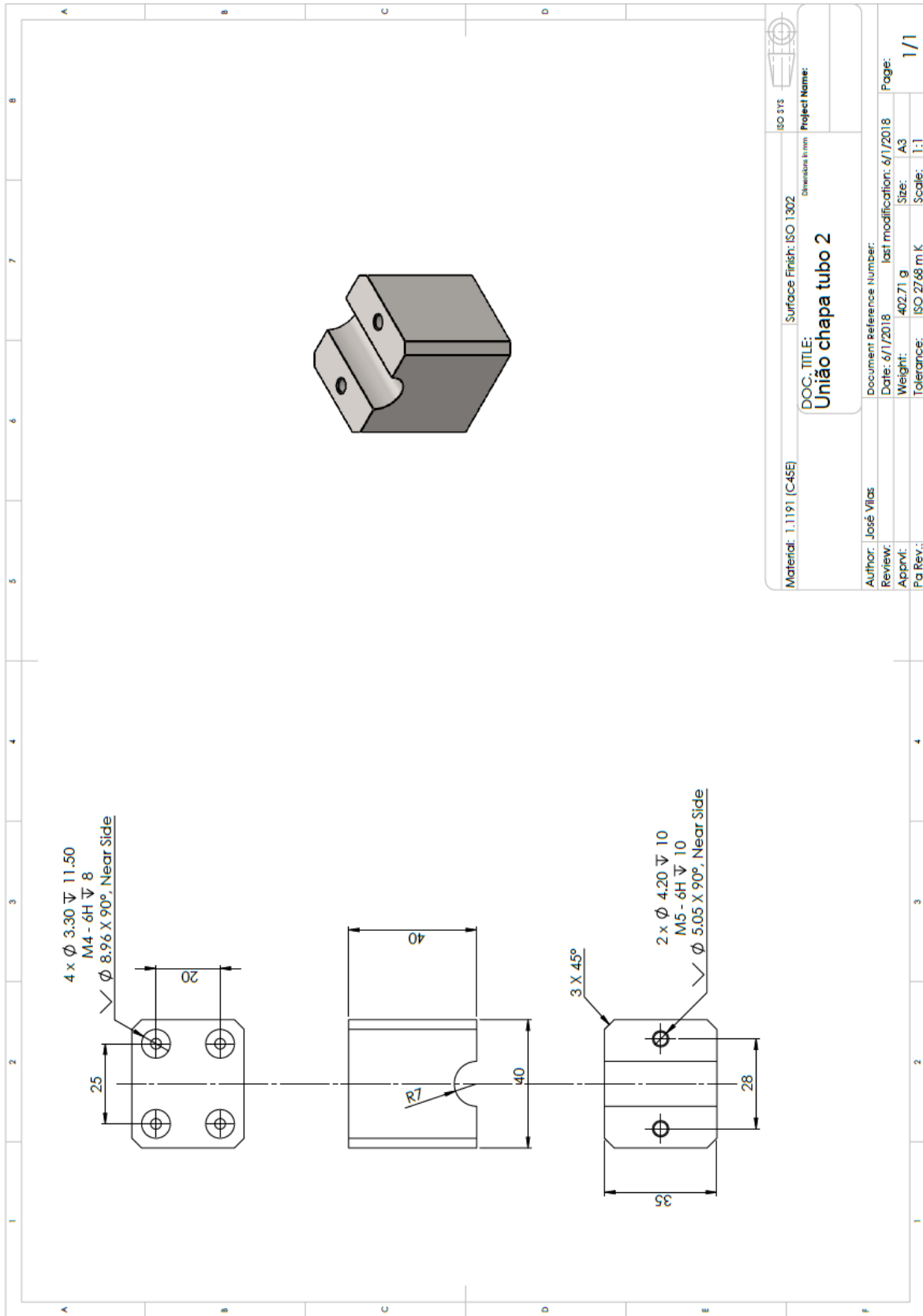












Material: 1.1191 (C45E)	Surface Finish: ISO 1302	ISO 213
Dimension in mm		
Project Name:		
DOC. TITLE: União chapa tubo 2		
Author: José Vilas	Document Reference Number:	
Review: 6/1/2018	Date: 6/1/2018	Last modification: 6/1/2018
Apprv: 402.71 g	Weight: 402.71 g	Size: A3
Pa Rev.: ISO 2768 m K	Tolerance: ISO 2768 m K	Scale: 1:1
		Page: 1/1